

ВОЕННО-ИНЖЕНЕРНАЯ КРАСНОЗНАМЕННАЯ
АКАДЕМИЯ имени В. В. КУЙБЫШЕВА

В. П. ЧЕБОТАРЕВ

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ИЗДАНИЕ ВИА
Москва — 1959

ВОЕННО-ИНЖЕНЕРНАЯ КРАСНОЗНАМЕННАЯ
АКАДЕМИЯ имени В. В. КУЙБЫШЕВА

Кандидат технических наук капитан
В. П. ЧЕБОТАРЕВ

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

(УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ)

ИЗДАНИЕ ВИА
Москва — 1959

В. П. Чеботарев. **Гидроизоляция подземных сооружений.** Изд. ВИА, 1959.

В книге рассматриваются вопросы защиты полевых и долговременных подземных сооружений от проникания в них воды.

Книга может служить практическим пособием для студентов и слушателей и гражданских и военных учебных заведений и специалистов, занимающихся строительством и проектированием подземных сооружений различного назначения.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Возведение подземных сооружений связано с решением ряда сложных инженерных задач. Одним из наиболее сложных и актуальных вопросов подземного строительства является защита их от проникания воды.

Между тем литературы по этому вопросу имеется совершенно недостаточно. Последним трудом, посвященным этому вопросу, является книга Э. З. Юдовича и А. А. Гладкова «Гидроизоляция подземных сооружений» (Стройиздат, 1949), ряд положений которой в значительной мере устарело.

В настоящей работе изложены вопросы, связанные с применением и устройством гидроизоляционных конструкций подземных сооружений, в том числе и фортификационных (жесткая, оклеечная, специальная, металлическая, комбинированная, обмазочная и пластическая гидроизоляции, нагнетание за обделку).

В работе рассмотрены, кроме того, способы и мероприятия, направленные на повышение водонепроницаемости обделок, а также особенности подбора бетона для конструкций подземных сооружений с учетом водонепроницаемости и стойкости в агрессивных водах.

В книге описан отечественный и зарубежный опыт использования для гидроизоляции подземных сооружений пластических масс и синтетических материалов.

Выражаю глубокую признательность кандидату техн. наук доценту С. А. Ананичу, кандидату техн. наук доценту А. Н. Пилипцу и кандидату техн. наук доценту П. Ф. Шубенкину за ценные замечания, сделанные ими при просмотре рукописи книги.

Все пожелания и замечания, высказанные читателями в связи с настоящей книгой, будут приняты с благодарностью.

Автор

ГЛАВА I

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

§ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Подземными называются сооружения, возводимые без вскрытия дневной поверхности грунта. Все они имеют над собой нетронутый массив породы — защитную грунтовую толщу, воспринимающую воздействие средств поражения.

Наряду с подземными сооружениями народного хозяйства возводят также подземные фортификационные сооружения, предназначенные для обеспечения наиболее эффективного применения войсками оружия и боевой техники, защиты войск, населения и важных объектов от средств поражения противника.

В системе народного хозяйства возводят подземные сооружения самого различного назначения:

— тоннели (железнодорожные, автодорожные, гидротехнические, канализационные, коллекторные, тоннели метрополитенов);

— объекты специального назначения (заводы, склады для хранения различных материалов, аэропорты, гидро- и теплоэлектростанции).

Кроме этих сооружений, возводимых для нужд народного хозяйства, могут быть использованы подземные выработки, которые возникают в результате проведения подземных работ, имеющих целью добычу полезных ископаемых и строительных материалов, и которые, как тоннели метрополитенов и коллекторы, после проведения дополнительных работ могут быть приспособлены для военных целей.

О размахе подземного строительства, осуществляемого в народном хозяйстве нашей страны, свидетельствуют работы по строительству тоннелей метрополитенов. На строительстве Московского метрополитена, являющегося лучшим в мире, за 25 лет его существования построено 133 *км* перегонных тоннелей (в однопутном исчислении), 47 станций, вынуто около 8 млн. $м^3$ грунта, уложено 2,5 млн. $м^3$ бетона и железобетона и около 1 млн. *т* тюбингов [18], [21]. Общая протяженность перегонных тоннелей метрополитена в нашей стране с учетом 1-й очереди Ленинградского метрополитена составляет в настоящее время свыше 157 *км* (в однопутном исчислении).

Большинство подземных сооружений, возводимых в народном хозяйстве (тоннели метрополитенов, железнодорожные и автодорожные тоннели и т. п.), являются дорогостоящими сооружениями, рассчитанными на длительный срок эксплуатации, и по капитальности относятся к I классу.

К большинству подземных сооружений, относящихся по капитальности к I классу, предъявляется требование полной защиты их от проникания воды любого напора [5].

Подземные фортификационные сооружения возводят как при полевом укреплении местности, так и при укреплении государственных границ и при подготовке территории страны в военно-инженерном отношении.

Основными преимуществами фортификационных подземных сооружений, по сравнению с другими сооружениями (котлованными), являются:

— возможность создания необходимой защитной толщи от любых средств поражения без большой затраты дорогостоящих строительных материалов;

— постоянная готовность к использованию, даже в процессе возведения этих сооружений;

— хорошая маскировка как от наземного, так и от воздушного наблюдения противника;

— возможность производства работ под защитой грунтовой толщи даже в период огневого воздействия противника, что обеспечивает возведение этих сооружений непосредственно на переднем крае.

По назначению подземные фортификационные сооружения подразделяются на:

— убежища и укрытия для войск и населения;

— сооружения для командных пунктов и узлов связи;

— сооружения для медицинских пунктов и госпиталей;

— укрытия для боевой техники;

— специальные сооружения (заводы, электростанции и т. п.).

Характерной особенностью полевых подземных фортификационных сооружений является то, что они возводятся с учетом непродолжительной эксплуатации. Как правило, эти сооружения возводятся в короткие сроки с применением местных материалов и средств малой механизации.

Полевые подземные фортификационные сооружения возводятся только в благоприятных гидрогеологических условиях, исключающих воздействие напорных вод на обделку как в период возведения, так и в процессе эксплуатации. В связи с этим к гидроизоляционным конструкциям полевых подземных сооружений предъявляется требование защиты этих сооружений от проникания в них поверхностных и атмосферных безнапорных вод.

Гидроизоляционные конструкции полевых подземных сооружений должны быть простыми по устройству и выполняться из недефицитных материалов, что позволит возводить их в короткие сроки как инженерными частями, так и другими подразделениями.

Долговременные подземные сооружения, в отличие от полевых, сооружаются на длительный период эксплуатации и возводятся как в простых, так и в сложных гидрогеологических условиях с применением самых различных строительных материалов и средств механизации.

С появлением мощных средств разрушения роль подземных фортификационных сооружений еще больше возрастает, а объем их строительства, как показывает опыт всех стран, увеличивается.

После окончания второй мировой войны подземное фортификационное строительство приняло большой размах в США и странах, входящих в Североатлантический блок, которые сразу же после окончания второй мировой войны начали усиленную подготовку к новой войне. Основным направлением в фортификационном строительстве, проводимом в США, не имеющих сухопутных границ со странами социалистического лагеря, против которых они подготавливают новую войну, является оборудование в военно-инженерном отношении территории страны и баз военно-морского флота, находящихся как на территории США, так и за ее пределами.

В военно-морской базе США в Пирл-Харборе (Гавайские острова) возведен подземный склад горюче-смазочных материалов. Этот склад ГСМ является крупнейшим в мире и состоит из 20 вертикальных емкостей, расположенных в два параллельных ряда (минимальное расстояние между емкостями 60,9 *м*). Размеры каждой емкости: внутренний диаметр 30,4 *м*, полная высота 76,2 *м*.

Конструкция емкостей состоит из внутренней стальной оболочки, выполненной из стальных листов размером 1,52 $\times$ 6,09 *м* и толщиной 6,35 *мм*, наружного выравнивающего слоя из торкрет-бетона и монолитного бетона, заключенного между внутренней стальной оболочкой и внешним выравнивающим слоем [44].

В США возведено много других подземных фортификационных сооружений: госпиталь на 2500 коек и 150 человек обслуживающего персонала с общей полезной площадью 20 000 $м^2$, завод в Спрингфильде, фабрика в Канзас-Сити и др. В США возведен открытым способом целый ряд крупнейших подземных гаражей: в Лос-Анжелосе на 2000 и 1650 машин, гараж в Чикаго на 2359 машин, пятиэтажный гараж в Сан-Франциско и др.

Программа подземного строительства в Швеции, получившая название «операция гранит», предусматривает строительство подземных убежищ, укрытий для боевой техники, складов и т. п. Для осуществления этой программы в Швеции построены или находятся в стадии строительства ряд цехов авиационного завода СААБ (в г. Минчепанге), артиллерийские заводы Бофорс, одно из крупнейших в мире убежищ для населения «Катерина» в районе Седермальма (Стокгольм), рассчитанное на 20 тыс. человек, подземные ангары для самолетов, тоннели-укрытия для военных кораблей и т. п. [15].

Подземные фортификационные сооружения возведены также и в других скандинавских странах. В частности, в столице Норвегии Осло сооружен крупный подземный склад площадью около

31,0 тыс. $м^2$, имеющий защитную грунтовую толщу от 25 до 75 *м*. Склад состоит из 6 параллельных тоннелей, разделенных перекрытиями на 2 этажа и имеющих ширину 14 *м*, высоту около 9 *м* и длину 195 *м*.

Во Франции наряду со строительством гаражей (подземный гараж в Руане и др.) возведен ряд долговременных подземных сооружений различного назначения: мастерские военно-морского флота в

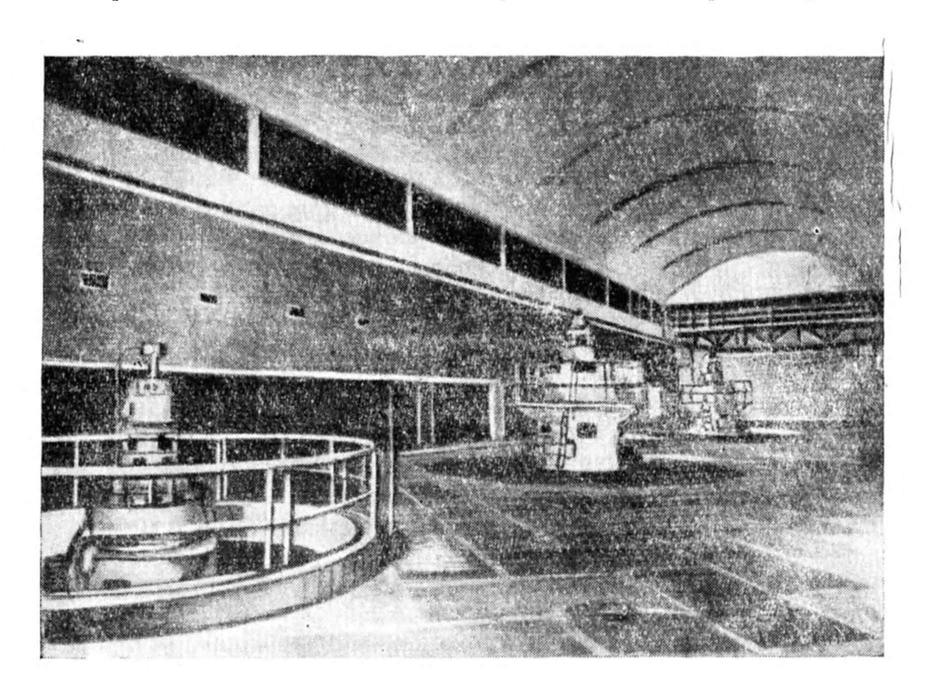


Рис. 1. Общий вид машинного зала подземной гидроэлектростанции в Арзеруфтисе (Алжир)

Реш-Дувре, имеющие общую кубатуру 14 000 $м^3$ и рассчитанные на работу 360 человек, теплоцентраль в районе Бреста [43] и др.

Ряд подземных сооружений возведен на территории Алжира. В частности, в районе военно-морской базы Мерс-эль-Кебир сооружены склады горюче-смазочных материалов и склады военного имущества. Склады военного имущества располагаются в трех тоннелях различной длины, имеющих ширину 18,4 *м*, высоту около 20 *м*. В районе Арзеруфтис сооружена подземная гидроэлектростанция мощностью 71,2 тыс. *квт*. Размеры станции по основанию: ширина — 18 *м* и длина — 65 *м*. Максимальная высота — 22 *м*. Гидроэлектростанция возведена в сланцах и имеет защитную грунтовую толщу 29 *м*. Общий вид машинного зала гидроэлектростанции в Арзеруфтисе представлен на рис. 1.

Много подземных фортификационных сооружений возведено также и в других капиталистических странах (Англия, Италия и др.).

Большое внимание в зарубежных странах уделяют строительству подземных электростанций, неуязвимость которых в военное время играет большую роль в укреплении обороноспособности страны. Первая подземная гидроэлектростанция в Бухбергмюлле (Германия) была сооружена в 1904—1907 гг. За последние 50 лет в разных странах мира введено в эксплуатацию 126 подземных гидроэлектростанций общей мощностью 12 млн. *квт*, а в настоящее время строится и запроектировано около 100 подземных гидроэлектростанций общей мощностью свыше 18 млн. *квт*.

Следует отметить, что подавляющая часть подземных гидроэлектростанций построена после окончания второй мировой войны и появления новых средств поражения [33]:

С 1904 г. по настоящее время выстроено подземных ГЭС:

До 1920 г.	5
1920—1930 гг.	12
1930—1940 гг.	12
1920—1930 гг..	12
1930—1940 гг..	12
В настоящее время (строящиеся и запроектированные)	92

Наибольшее количество подземных гидроэлектростанций построено в Италии (38), Норвегии (26), Швеции (18), Франции (10) и Швейцарии (10).

Подземные гидроэлектростанции в Италии вырабатывают свыше 30% всей электроэнергии, в Норвегии — более 40%, в Швеции около 50%. Современный период строительства подземных электростанций характеризуется значительным увеличением мощности гидроэлектростанций, которая на многих объектах превышает 200 и 300 тыс. *квт* и в отдельных случаях достигает 500 тыс. *квт* (гидроэлектростанции Шторнорфорс в Швеции и Амариа во французской Гвинее) и даже 1000 тыс. *квт* (гидроэлектростанция Берзимис в Канаде).

Самой крупной в мире является подземная гидроэлектростанция Кемано (Канада), строительство первой очереди которой закончено в 1954 г. Станция сооружается на Тихоокеанском побережье в 800 *км* к северу от г. Ванкувера, вблизи крупного алюминиевого завода (рис. 2). Вода для электростанции подается из реки Нечако по двум напорным тоннелям диаметром 7,5 *м* и протяженностью 16,3 *км* каждый, расположенным на расстоянии 90 *м* один от другого. Машинный зал подземной гидроэлектростанции имеет длину 348 *м*, ширину 25 *м*, высоту 42,5 *м*. Гидроэлектростанция оборудуется 16 турбинами по 110 000 тыс. *квт*. Общая мощность гидроэлектростанции Кемано составит 1696 тыс. *квт* [33].

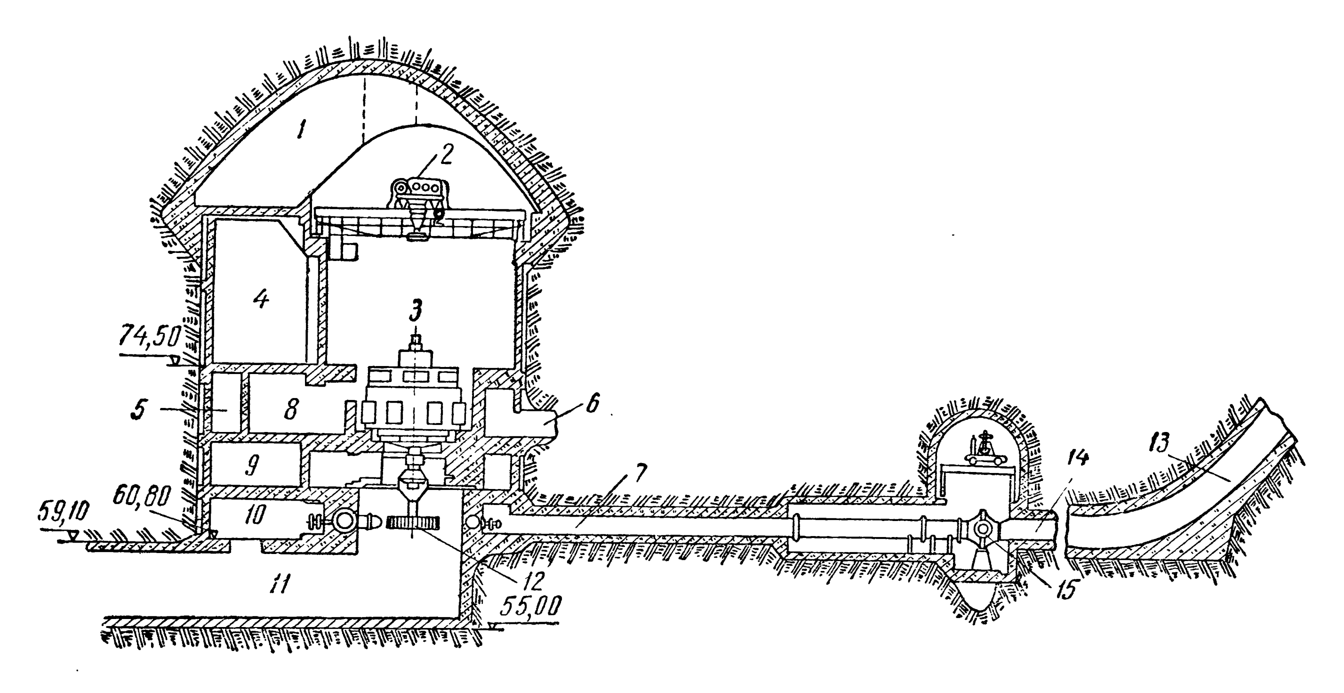


Рис. 2. Подземная гидроэлектростанция Кемано (Канада): *1* — плиты из керамзитового бетона толщиной 100 *мм; 2* — два 225-тонных крана; *3* — генератор; *4* — трансформаторы; *5* — тоннель для кабеля высокого напряжения; *6* — камера затворов и запасной выход; *7* — напорный водопровод; *8* — тоннель для шин напряжением 13 800 *в; 9* — тоннель для контрольного кабеля; *10* — тоннели для трубопроводов и насосов; *11* — тоннель; *12* — турбина мощностью 110 000 *квт; 13* — напорный тоннель; *14* — люк; *15*—шаровой затвор

За рубежом уделяется также большое внимание строительству подземных заводов.

Много подземных заводов было возведено в Германии в период второй мировой войны. Особенно большой размах приняло строительство подземных заводов в Германии в 1944 г. и составляло в последние месяцы этого года 17% общестроительных работ и 40% промышленного строительства. В Германии в период второй мировой войны был сооружен ряд подземных заводов, выпускавших авиационные

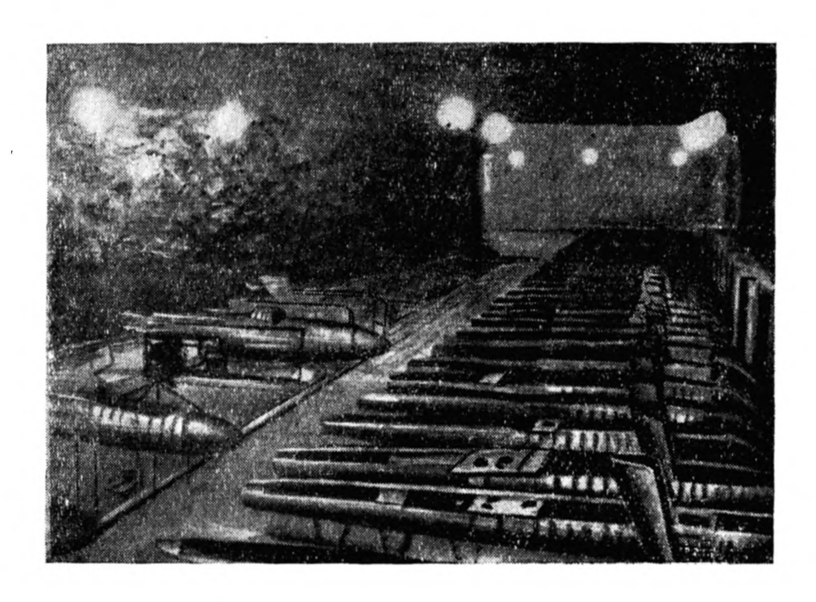


Рис. 3. Общий вид одного из цехов подземного авиационного завода (Германия)

моторы, корпуса для самолетов, электрооборудование. Под землей были также расположены отдельные заводы машиностроительной промышленности и предприятия по производству синтетической нефти, а также аэропорты. Общий вид сборочного цеха одного из немецких подземных заводов показан на рис. 3 [45].

Подземные заводы могут сооружаться как в готовых выработках (пещеры, шахты, каменоломни), так и возводиться закрытым способом работ.

На рис. 4 представлен план подземного авиационного завода (Германия), возведенного закрытым способом работ. Этот завод врезан в возвышенность на высоте около 300 *м* над уровнем моря. Сооружение имело 6 входных галерей (*А, В, С, Д, Е* и *F*), к которым позднее было добавлено еще 4. Ширина входных галерей позволяла проложить двухпутную железнодорожную колею и две подвесные однорельсовые дороги. Об объеме работ по сооружению этого завода

говорит тот факт, что только через входные галереи было вывезено около 5 млн. $м^3$ породы.

В США в настоящее время инженерным ведомством проводится в плановом порядке большая работа по обследованию готовых выработок для определения возможности использования их для размещения заводов и других сооружений [29].

В Швеции самым крупным из ныне действующих подземных заводов является завод «Болиндер-Мьюкл» в районе Ескилстуна, про-

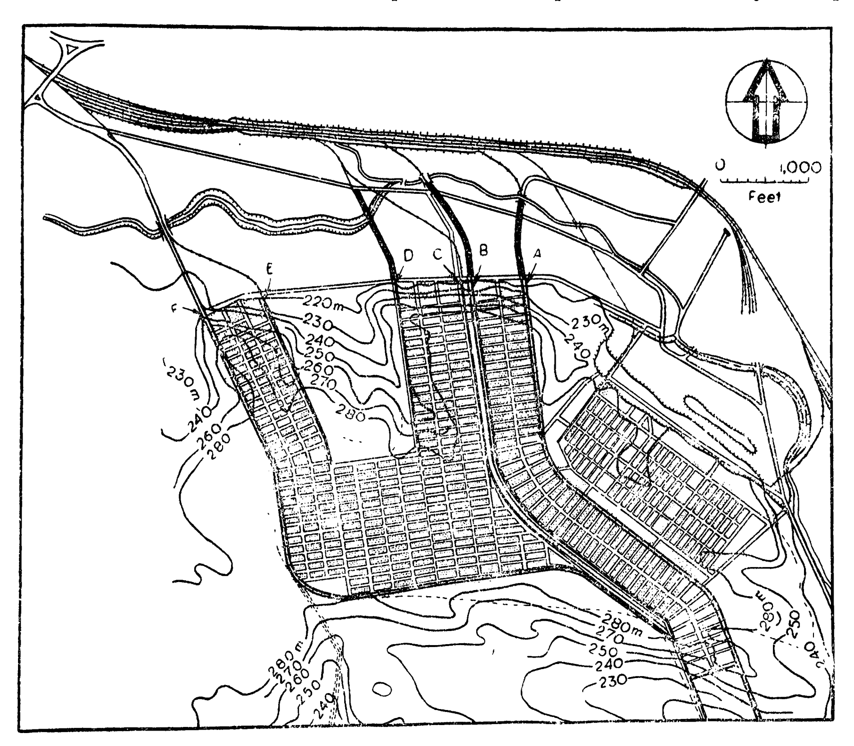


Рис. 4. План подземного завода по производству самолетов «юнкерс» (Германия)

изводящий авиационные моторы. Завод был построен в скальных породах за 2 года. Основной объем сооружения состоит из параллельных выработок пролетом 15,2 *м* и длиной 122 *м*, соединенных поперечными галереями.

Подземные заводы возведены также в США, Японии, Италии и других странах. В Японии, например, сооружена подземная морская база, в которую входит завод подводных лодок и другие сооружения, рассчитанные на пребывание в ней около 70 000 рабочих. Работы по сооружению этой базы выполнены за 3 года [29].

Качественный и количественный рост современных средств поражения, реальная возможность использования их как в стратегиче-

ских, так и в тактических целях, особенности атомной войны, когда разрушительному действию новых средств поражения будут подвергаться не только непосредственно театры военных действий, но и самые глубокие тылы,— все это предъявляет особые требования к оборудованию полос обороны и районов расположения войск и к инженерному обеспечению сооружений, возводимых заблаговременно в системе военно-морских баз и ПВО страны.

Важнейшим элементом повышения обороноспособности нашей страны и боевой подготовки наших войск является дальнейшее совершенствование методов строительства подземных фортификационных сооружений.

§ 2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В земной коре нельзя найти горные породы, которые не заключали бы в себе в том или ином виде воду.

Горные породы содержат различные виды воды. Впервые это было доказано исследованиями русского ученого А. Ф. Лебедева, который установил следующие виды воды, отличающиеся физическими свойствами: сорбированная, свободная и парообразная вода.

Сорбированная (или связанная, гидратационная, пленочная) вода удерживается частицами грунта под влиянием сорбционных сил и под действием тех же сил может несколько перемещаться. Свободная вода (или жидкая, капиллярно-гравитационная) движется и удерживается под влиянием гравитационных или капиллярных сил в зависимости от степени заполнения пор водой. Парообразная вода (водяной пар) занимает все поры, свободные от жидкой воды. Общее ее количество в почве не превышает 0,001% от веса почвы.

Из многочисленных классификаций подземных вод нами принята классификация, основанная на условиях залегания этих вод и предложенная А. М. Овчинниковым [34]. Согласно этой классификации подземные воды делятся на три основных типа: верховодка, грунтовые воды и артезианские воды.

Верховодка — широко распространенное название подземных вод, залегающих наиболее близко к земной поверхности. К этому типу относятся также капиллярные воды, находящиеся в зоне аэрации. Эти воды подвержены резким колебаниям в зависимости от гидрометеорологических условий и часто исчезают в засушливые периоды.

Отличие верховодки от грунтовых вод состоит в том, что она располагается выше горизонта грунтовых вод, там, где происходят процессы просачивания атмосферной влаги. Верховодка чаще всего приурочена к поверхности слабоводопроницаемых или водонепроницаемых пород, заключенных среди водопроницаемых (рис. 5).

Грунтовые воды — это воды первого от поверхности водоносного горизонта, не имеющего сверху сплошной кровли из водонепроницае-

мых пород. Чаще всего они залегают в рыхлых четвертичных отложениях — «грунтах», откуда они и получили свое название.

Грунтовые воды чаще всего безнапорные, т. е. имеют свободную поверхность. Уровень воды в колодцах или скважинах устанавливается на высоте, соответствующей свободной поверхности грунтовых вод. Однако на отдельных участках, перекрытых водоупорными породами, грунтовые воды могут приобретать местный напор. Область питания грунтовых вод, как правило, совпадает с областью их распространения. Режим грунтовых вод находится под непосредственным влиянием гидрометеорологических факторов и характеризуется сезонными колебаниями. По возрасту грунтовые воды являются современными образованиями.



Рис. 5. Верховодка

Свободную поверхность принято называть зеркалом грунтовых вод. На гидрогеологических картах эта поверхность изображается линиями одинаковой высоты зеркала над уровнем моря (гидроизогипсы).

Формы гидроизогипс при различных соотношениях поверхностных и подземных вод приведены на рис. 6.

Основными источниками питания подземных вод служат поверхностные воды (реки, озера, водохранилища, моря) и атмосферные осадки.

В районах с большим количеством атмосферных осадков приток воды в горные выработки увеличивается на 20—40%, а иногда на 200—300% по сравнению со среднегодовым. В Донбассе приток воды в выработки в течение года изменяется, достигая наибольшей величины в конце апреля и начале мая. По данным А. И. Кравцова [31] в одной из шахт при нормальном притоке 85—90 *м³/час* в весенний период приток достигает 220 *м³/час*, а в другой — при среднем притоке 60 *м³/час* приток в начале мая достигает 120 *м³/час*.

В выработках глубиной 100—200 *м* увеличение поступления воды отмечается уже через несколько дней. На рис. 7 приведен график из-

менения величины водопритока в шахту, расположенную на глубине 120 *м*, в зависимости от атмосферных осадков. В выработках, залегающих на меньшей глубине, обильные дожди вызывают усиление

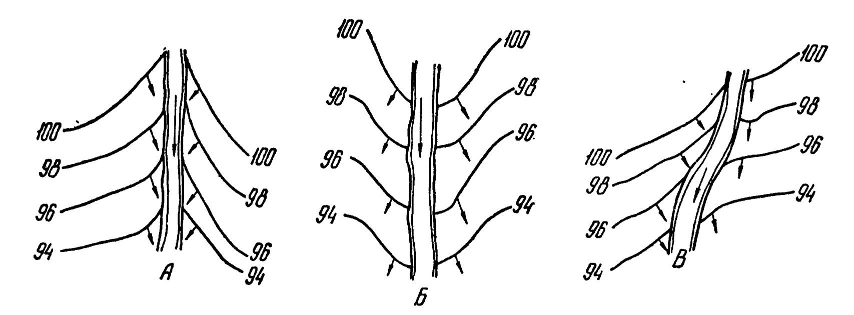


Рис. 6. Формы гидроизогипс при различных соотношениях поверхностных и грунтовых вод: *А* — река питается грунтовыми водами, зеркало их наклонно к реке; *Б* — река питает грунтовые воды, зеркало наклонно от реки; *В* — река питает (левый берег) и дренирует (правый берег) грунтовые воды

обводненности уже через несколько часов. В выработках глубиной свыше 250—300 *м* увеличение притока наступает иногда через 2 и более месяца. В более глубоких выработках сезонные колебания притока воды проявляются слабо. Так, на одной из шахт Донбасса на горизонте 560 *м* средний приток воды составляет 180 *м*³/*час*, а макси-

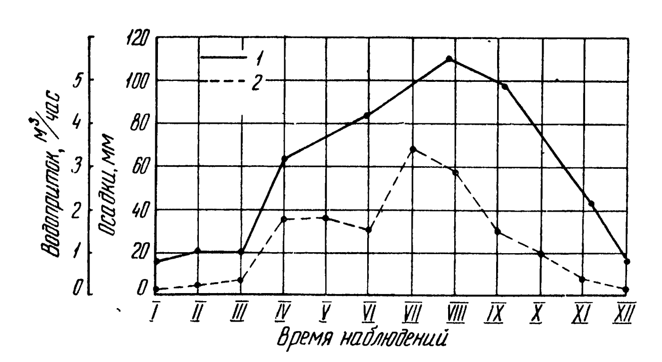


Рис. 7. График изменения величины водопритока в шахту на глубине 120 *м* в зависимости от атмосферных осадков: *1* — кривая водопритока; 2 — кривая атмосферных осадков

мальный весенний не превышает 220 *м*³/*час;* в выработку одной из наиболее глубоких шахт Донбасса, находящейся на глубине 900 *м,* поступает всего 40 *м*³/*час* воды [28].

Верхнюю часть земной коры с точки зрения распределения подземных вод принято делить на две весьма неравные по мощности зоны: зону аэрации и зону насыщения.

В зоне аэрации, которая представляет собой буферный слой между атмосферой и подземной гидросферой, пустоты и поры проницаемых пород не всегда и не везде заполнены водой. Здесь, ниже почвенных вод, находящихся в сложной взаимосвязи с растительностью и другими органическими веществами, происходит вертикальное просачивание атмосферной влаги или поверхностных вод и могут возникать только временные или сезонные воды (верховодка). В зоне аэрации находятся: водяной пар, заполняющий свободные поры пород; гигроскопическая вода, обусловливающая гигроскопическую влажность грунта; пленочная вода, обволакивающая зерна породы в виде пленки различной толщины, и капиллярная вода. Движение подземных вод в этой зоне может происходить в виде пленочного движения, свободного просачивания и капиллярного движения.

Наибольший интерес представляет движение воды путем просачивания. Просачивание (фильтрация) воды через зону аэрации может происходить или в виде свободного стекания воды или, при сильном увлажнении, в виде просачивания под напором. В первом случае происходит смачивание породы, после чего под влиянием силы тяжести начинается движение избыточной гравитационной воды по свободным порам в виде отдельных струек. Во втором случае поры породы целиком заполняются водой и дальнейшее движение из верхних в нижние слои происходит путем передачи напора.

В зоне аэрации возводятся, как правило, полевые фортификационные сооружения, имеющие небольшую защитную грунтовую толщу (до 10 *м*), а также сооружения другого назначения (канализационные тоннели, коллекторы и т. д.). Следовательно, подземные сооружения, располагаемые в этой зоне, могут подвергаться воздействию ненапорных временных вод типа верховодки и поверхностных и атмосферных вод, просачивающихся через поры горных пород.

В зоне насыщения поры пород заполнены водой, которая находится под гидростатическим давлением.

Верхняя граница зоны насыщения определяется положением зеркала грунтовых вод, а нижняя — термодинамическими условиями земной коры.

Теоретически вода в жидком состоянии может находиться на глубине до 10—12 *км* и более. В действительности, глубина распространения капельно-жидкой воды значительно меньше.

В зоне насыщения возводится большинство подземных сооружений долговременного типа. Сооружения, находящиеся в этой зоне, могут подвергаться воздействию как ненапорных, так и напорных вод.

Для правильного решения вопроса о материале обделки подземного сооружения большое значение имеет химический состав и свойства подземных вод. Подземная вода представляет собой очень

сложную динамическую систему, подробно изучить которую можно только на основе анализа всех составляющих ее элементов.

Основными процессами, определяющими состав подземных вод, являются выщелачивание, растворение, переход из связанного состояния в свободное.

Если производить полный химический анализ воды, то необходимо определять большое количество компонентов (около 40). Но практически в настоящее время все внимание сосредоточивается на 6 главнейших компонентах химического состава подземных вод: $Na^{\cdot}$, $Mg^{\cdot\cdot}$, Cä, Cl', SO_4'' и HCO_3', так как эти анионы и катионы заключены в подземных водах в преобладающем количестве и определяют их химический тип. Подземная вода, содержащая повышенное (по сравнению с допускаемыми нормами) количество этих катионов и анионов, действуя на подземную конструкцию, может разрушить материал обделки.

Указания о выборе цемента для бетона подземных конструкций, работающих в условиях агрессивных подземных вод, приведены в § 2 главы III.

Оценка инженерно-гидрогеологических условий возведения подземных сооружений тесно связана с физико-химическими, механическими свойствами горных пород и их отношением к воде.

При оценке инженерно-гидрогеологических условий необходимо учитывать, кроме общих геологических и петрографических свойств породы (минералогический и химический состав породы, ее структура и текстура, генезис и т. д.), следующие свойства:

— физические свойства, присущие породе (с точки зрения рассматриваемой темы наибольший интерес представляют пористость и трещиноватость);

— отношение горных пород к воде (влажность, влагоемкость, водоотдача и водонепроницаемость);

— химические свойства породы (растворимость и т. д.)

Величина пористости определяется отношением объема пустот к общему объему всей породы в сухом состоянии и выражается в долях единицы (коэффициент пористости) или в процентах. Пористость обычно уменьшается с глубиной, что обусловлено нарастанием давления с глубиной. Показатели пористости отдельных горных пород приведены в табл. 1.

Принято различать:

— капиллярную пористость, когда диаметр пор менее 1 *мм* или ширина трещин менее 0,25 *мм;*

— ноздреватость, кавернозность и мелкую трещиноватость;

— закарстованность и крупную трещиноватость.

Трещиноватость горных пород оказывает большое влияние на их водопроницаемость, прочность и устойчивость. Степень трещиноватости породы определяется частотой, размерами и направлением трещин. О частоте трещин судят по их количеству на одну квадратную единицу площади или по числу трещин, пересекаемых буровой скважиной на 1 *пог. м* глубины

Таблица 1

Величины пористости горных пород

Породы	Число определений	Пористость, % максимальная	Пористость, % минимальная	Пористость, % средняя
Породы верхней части выветривания				
Пески	267	45,0	17,33	35,0
Лесс, лессовидные суглинки	282	59,06	35,3	45,0
Покровные суглинки	94	50,0	24,23	35,0
Глины	321	55,0	18,3	35,0
Известковые туфы	4	32,2	20,2	25,0
Осадочные породы				
Пески рыхлые	54	50,9	26,4	35,0
Пески уплотненные	46	29,5	11,2	25,0
Известняки пористые	76	34,0	0,21	5,0
Доломиты пористые	9	33,0	1,5	5,0
Глины платформ	273	54,93	17,23	40,0
Глины складчатых областей	28	50,8	10,4	20,0
Плотные известняки	7	6,9	0,2	3,0
Гипс	4	6,0	0,1	3,0
Мел	33	55,0	3,28	30,0
Опока	10	49,0	20,0	35,0
Метаморфические породы				
Сланцы глинистые	14	10,0	0,49	4,0
Сланцы кровельные	59	10,28	1,16	4,0
Сланцы кремнистые	2	0,91	0,85	1,0
Мрамор	7	6,0	0,11	1,0
Кварциты	5	3,4	0,08	1,0
Гнейсы	2	2,4	0,3	1,0
Порфириты	9	6,73	0,38	2,0
Граниты	50	1,9	0,02	1,0
Сиениты	7	2,8	0.5	1,0

Трещины, по Ф. П. Саваренскому, в зависимости от их происхождения, подразделяются на следующие группы:

— тектонические трещины, глубоко пересекающие целую серию напластований и сопровождающиеся довольно часто сбросами;

— тектонические трещины, вызванные сжатием, растяжением или скручиванием и разбивающие породы на отдельности;

— трещины, вызванные сжатием при остывании пород с одновременным боковым давлением;

— трещины, вызванные сжатием лавовых пород при их застывании из расплавленного состояния;

— трещины, вызванные напряжениями местного характера;

— трещины от выветривания.

Размер трещин колеблется в самых широких пределах: от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров. Например, на строительстве Днепростроя при вскрытии котлована под плотину была обнаружена трещина шириной до 1 *м*.

Трещиноватость пород при заложении подземного сооружения в водонепроницаемых грунтах в большинстве случаев является причиной его обводнения грунтовыми и поверхностными водами.

Главнейшими водными свойствами пород являются: влажность, водоотдача и водопроницаемость.

Водопроницаемость — способность породы пропускать воду. Степень водопроницаемости породы не определяется абсолютной величиной пористости, она зависит от размера пустот или диаметра пор. Горная порода с весьма значительной пористостью может быть непроницаемой, как, например глина, пористость которой часто достигает 60%. Песок же, пористость которого составляет всего 30%, отличается хорошей водопроницаемостью. Водопроницаемость пород, зависящая от наличия трещин и разломов, называется макропроницаемостью, а зависящая от наличия пор — микропроницаемостью.

Для строительных целей определяют общую (зависящую как от пор, так и от трещин и изломов) водопроницаемость при помощи опытных откачек или нагнетания воды в буровые скважины.

По степени водопроницаемости горные породы делят на 5 категорий:

I — хорошо водопроницаемые;

II — водопроницаемые;

III — слабо водопроницаемые;

IV — весьма слабо водопроницаемые;

V — непроницаемые.

Важнейшим показателем степени водопроницаемости является коэффициент фильтрации, определяемый из закона Дарси.

Закон Дарси характеризует ламинарное (струйчатое) движение воды в горных породах. Скорость фильтрации, выше которой наблюдаются отклонения от закона Дарси, называется критической скоростью фильтрации. При таких значениях движение воды приобретает турбулентный (вихревой) характер. Однако линейный закон Дарси применим для решения большинства практических задач, так как турбулентное движение наблюдается очень редко — только в крупных трещинах и каналах.

В табл. 2 приведены данные, характеризующие связь водопроницаемости горных пород с коэффициентом фильтрации.

При оценке инженерно-геологических и инженерно-гидрогеологических условий возведения подземных сооружений необходимо всесторонне учитывать физико-химические, механические свойства породы и ее отношение к воде. Классификация, наиболее полно отвечающая этому требованию, предложена Ф. П. Саваренским [37].

Таблица 2

Коэффициенты фильтрации горных пород

Категория водопроницаемости	Характеристика пород	Коэффициент фильтрации, *м/сутки*
I	Хорошо водопроницаемые (галечники, крупнозернистые пески, закарстованные породы) .	>10
II	Водопроницаемые (пески, трещиноватые породы)	10—1
III	Слабо водопроницаемые (мергели, песчаники и др.)	1—0,01
VI	Весьма слабо водопроницаемые (глинистые песчаники, суглинки и др.)	0,01—0,001
V	Непроницаемые, практически водоупорные (глина и др.)	<0,001

На основе классификации, предложенной Ф. П. Саваренским, при оценке гидрогеологических условий возведения подземных сооружений могут быть приняты следующие основные положения:

1. Скальные и полускальные породы:

а. Магматические крупнозернистые (гранит, сиенит, диорит, диабаз и др.), мелко- и скрытокристаллические (порфиры, порфириты, трахиты, андезиты), метаморфические породы (гнейсы, различные сланцы, кварциты, мрамор) и сцементированные осадочные породы (кварцитовые песчаники, конгломераты, брекчии, известняки, доломиты, мергели) являются практически (если отсутствуют трещины) водонепроницаемыми и нерастворимыми (или слаборастворимыми) в воде и невлагоемкими.

б. Осадочные химические породы (гипс, ангидрит, каменная соль) являются (кроме гипса) влагоемкими и сильно растворимыми в воде.

в. При наличии трещин являются водопроницаемыми; степень водопроницаемости зависит от пористости и размеров трещин.

2. Связные и несвязные породы:

а. Глины, лесс и лессовидные суглинки различного происхождения являются практически водонепроницаемыми (глина) или слабоводопроницаемыми (лесс и суглинки).

б. Крупнообломочные породы (щебень, валуны, галька, гравий) и пески различного происхождения хорошо водопроницаемы, невлагоемкие и несжимаемые.

3. Породы особого состава:

Эти породы, как правило, не являются средой для возведения подземных сооружений. Из этой группы представляют интерес только плывуны, в которых иногда приходится возводить подземные со-

оружения. Плывуны песчаного или илового состава находятся в текучем состоянии и не держат откосов.

Окончательный выбор положения подземного сооружения в плане и в профиле, способа производства работ и конструктивных решений по борьбе с прониканием воды в сооружение производится в результате инженерно-геологических изысканий, в состав которых входит необходимый комплекс инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий и лабораторных исследований.

В результате этих изысканий и исследований устанавливаются:

— инженерно-геологическая характеристика (общая устойчивость горных пород, наличие закарстованности, зон размывов, просадочности, оползней, тектонических нарушений, характеристики механических свойств пород, наличие и характер трещиноватости горных пород и т. д.);

— гидрогеологические условия (характеристика водоносных горизонтов, направление и скорость движения подземных вод, коэффициент фильтрации пород, величины ожидаемых притоков воды в выработки, химический состав подземных вод и степень агрессивности их по отношению к материалу обделки, ожидаемое гидростатическое давление на подземное сооружение и т. д.);

— общие вопросы (климатические условия, гидрография и т. д.).

При проведении инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства подземных сооружений следует руководствоваться соответствующими техническими условиями и инструкциями [11].

§ 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБДЕЛОК ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

По способу возведения конструкции подземных сооружений бывают монолитными и сборными.

Монолитные обделки подземных сооружений могут выполняться из бетона, железобетона и других материалов. Следует отметить, что в практике подземного строительства наибольшее распространение нашли монолитные бетонные обделки.

Толщина монолитных конструкций, возводимых только в подземных сооружениях долговременного типа, определяется расчетом, но должна быть при бетонной обделке не менее 0,2 *м*, при железобетонной — 0,15 *м*.

Для монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций подземных сооружений (в том числе и фортификационных) применяется плотный бетон с объемным весом от 2,2 до 2,5 $т/м^3$, к которому предъявляются требования:

— прочности;

— водостойкости;

— водонепроницаемости;

— удобоукладываемости и подвижности бетонной смеси;

— по подбору состава.

При обделке подземных сооружений, находящихся в условиях знакопеременных температур, к вышеперечисленным требованиям добавляются требования по морозостойкости бетона.

Указания по обеспечению водостойкости, водонепроницаемости и подбору состава бетона для подземных конструкций приведены в § 2 главы III.

Характерной конструктивной особенностью обделок подземных сооружений, с точки зрения гидроизоляции, является наличие в них температурно-усадочных швов, через которые вода может проникать в сооружение. Расстояния между температурно-усадочными швами обделок подземных сооружений следующие:

Вид обделки	Расстояния в *м*
Бетонная обделка	
Монолитная сплошная	20
Монолитная сплошная с конструктивным армированием	30
Сборная	40
Железобетонная обделка	
Монолитная	50
Сборная	60

Необходимо отметить, что плотные водонепроницаемые бетоны для бетонных и железобетонных конструкций подземных сооружений (особенно при монолитных обделках), возводимых в неблагоприятных условиях, характерных для подземных работ, получить трудно. Это обстоятельство, наряду с неплотностями сборных обделок (стыки) и наличием температурно-усадочных швов, и является причиной обводненности подземных сооружений и вызывает необходимость устройства дополнительных гидроизоляционных конструкций.

Сборные конструкции, применяемые в подземных сооружениях как долговременного, так и полевого типа, могут выполняться из дерева, металла, бетона, железобетона, пластмассы и других материалов.

Деревянная обделка подземных сооружений устраивается в виде сплошного деревянного крепления и состоит из отдельных дощатых брусчатых или бревенчатых рам, устанавливаемых вплотную друг к другу (рис. 8). В продольном направлении эти рамы связывают соединительными планками, которые прибивают к стойкам рам вверху и внизу обделки. Деревянными прямоугольными рамами закрепляют выработки полевых подземных сооружений пролетом до 2,5 *м*.

Сборные обделки подземных сооружений из металла нашли применение в виде конструкций из чугунных (реже стальных) тюбингов и из волнистой стали.

Достоинствами сборной обделки подземных сооружений из металла являются:

— значительная водонепроницаемость (при соответствующей гидроизоляции стыков);

— простота возведения конструкций, обеспечивающая высокие темпы монтажа обделки.

Обделки из чугунных тюбингов нашли широкое применение в практике подземного строительства при возведении сооружений долговременного типа. Нормальный чугунный тюбинг перегонного

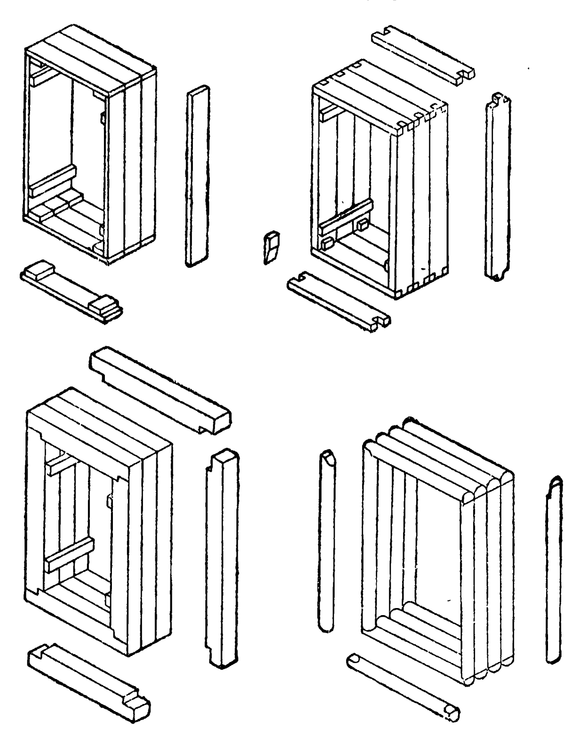


Рис. 8. Обделка полевых подземных сооружений из деревянных прямоугольных рам

тоннеля Московского метрополитена показан на рис. 9. Тюбинги изготовляются из литого серого чугуна марки СЧ 21-40. Обделка, сооружаемая из тюбингов, представляет собой металлическую трубу, собранную из отдельных сегментов, скрепленных болтами.

Благодаря такой конструкции тоннель в поперечном направлении имеет швы, которыми он разбит на кольца. Каждое кольцо в свою очередь состоит из сегментов, а следовательно, имеет продольные швы. От количества сегментов в кольце и ширины кольца зависит и общая длина швов, приходящаяся на единицу длины тоннеля, т. е. тех неплотностей, через которые проникает в сооружение вода.

Вода может также проникать и через болтовые отверстия в сегментах. В каждом сегменте, кроме замкового, в оболочке имеется

специальное отверстие для нагнетания раствора за обделку. Эти отверстия в дальнейшем закрывают ввинчивающимися пробками. Несмотря на определенную пригонку резьбы пробки к резьбе отверстия, вода все же может просачиваться.

Таким образом, в подземных сооружениях с тюбинговой обделкой имеют место неизбежные неплотности, обусловленные самой конструкцией обделки. Эти неплотности являются источниками просачивания воды в сооружение и требуют обязательной изоляции.

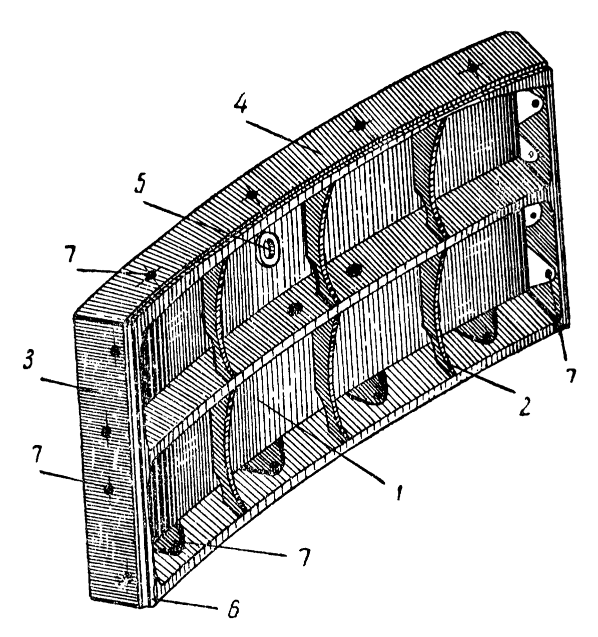


Рис. 9. Чугунный тюбинг: *1* — спинка; *2* — диафрагма; *3* — продольный борт; *4* — кольцевой борт; *5* — отверстие для нагнетания раствора; *6* — фальцы; *7* — отверстия для болтов

Вода может просачиваться и непосредственно через тело самого тюбинга (вследствие дефектов литья, трещин от давления щитовых домкратов). Однако такие случаи редки и можно считать, что сами чугунные тюбинги абсолютно водонепроницаемы.

Основным недостатком сборных обделок из чугунных тюбингов является значительный расход дефицитного и дорогого материала — металла. В связи с широким внедрением в практику подземного строительства сборных железобетонных конструкций применение чугунных тюбингов в дальнейшем будет ограничено.

Устройство чугунной тюбинговой обделки в перегонных тоннелях метрополитена с 1 июля 1957 г. запрещено, за исключением случаев, когда применение ее вызывается тяжелыми гидрогеологическими условиями.

Обделка из волнистой стали применяется главным образом для закрепления выработок полевых подземных сооружений незначительного пролета и состоит из отдельных элементов различной ширины, устанавливаемых вплотную друг к другу. Отдельные элементы обделки соединяются между собой при помощи уголков.

Сборные обделки из бетона и, особенно из железобетона, до последнего времени находили ограниченное применение в практике подземного строительства в нашей стране. Достаточно указать на то, что сборная железобетонная обделка в подземных сооружениях, в том числе и в фортификационных, после окончания первой очереди Московского метрополитена (1934 г.), в ходе строительства которой были сооружены перегонные тоннели протяженностью 0,868 *км* со сборной обделкой из железобетонных блоков, применялась только в отдельных случаях (при строительстве нескольких гидротехнических тоннелей, вентиляционных тоннелей Московского метрополитена).

Что касается применения в подземных сооружениях конструкций из железобетонных тюбингов, следует отметить, что подобные обделки устраивались только на отдельных участках строительства 3 и 4-й очередей Московского метрополитена. Общая протяженность тоннелей Московского метрополитена, имеющих обделку из сборного железобетона, составляла до 1956 г. около 4 *км*.

Главными причинами недостаточного внедрения сборных железобетонных конструкций в практику подземного строительства явились:

— отсутствие до последнего времени надлежащей базы для выпуска в широких масштабах железобетонных конструкций и деталей;

— трудность гидроизоляции сборных обделок при возведении подземных сооружений в сложных гидрогеологических условиях (сборные железобетонные обделки как в нашей стране, так и за рубежом применялись главным образом в благоприятных гидрогеологических условиях).

Намеченная в соответствии с Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 19 августа 1954 г. программа строительства в нашей стране 420 заводов и 200 площадок полигонного типа по производству сборных железобетонных конструкций и деталей в настоящее время успешно осуществляется. В 1965 г. объем производства железобетонных конструкций возрастет по сравнению с 1958 г. почти в 2,5 раза и составит 42—45 млн. $м^3$.

Создание в нашей стране мощной производственной базы по производству железобетонных конструкций послужило толчком к более широкому внедрению этих конструкций в практику подземного строительства.

Достаточно сказать, что только в 1956 г. на строительстве Московского метрополитена было возведено около 0,9 *км* перегонных тоннелей с обделкой из железобетонных блоков, а на строительстве 1-й

очереди Ленинградского метрополитена около 1,5 *км* перегонных тоннелей с обделкой из железобетонных тюбингов.

Объем обделок перегонных тоннелей метрополитена из сборного железобетона по отношению к общему объему построенных в нашей стране тоннелей составлял в 1955 г. 2,9%, в 1956 г.— 16%, в 1957 г.— 55%, а в 1958 г.— 85%.

К 1 января 1959 г. в Советском Союзе построено более 19,0 *км* тоннелей из сборного железобетона, что значительно превышает протяженность тоннелей метрополитенов и железных дорог со сборной железобетонной обделкой, имеющихся за рубежом.

Широко внедряются железобетонные конструкции в нашу отечественную горнорудную промышленность. Так, к 1 июля 1957 г. около 1000 *км* горных выработок было закреплено при помощи сборной железобетонной крепи. Протяженность горных выработок со сборной железобетонной крепью к 1960 г. намечено довести до 1800 *км* [38].

Применение сборных железобетонных конструкций в подземном строительстве значительно экономит металл и удешевляет общую стоимость работ.

Замена обделки из чугунных тюбингов сборными железобетонными блоками дает экономию 2,5 тыс. руб. и 6,87 *т* металла на 1 *пог. м* тоннеля [18]. На строительстве Ленинградского метрополитена применялись чугунные и железобетонные тюбинги, имеющие следующие сравнительные данные:

	Железобетонный тюбинг	Чугунный тюбинг
Вес, *кг*	620	630
Вес металла на 1 *пог. м, кг*	614	5500
Стоимость 1 *пог. м* обделки, руб.	3330	5810

Существует множество различных конструктивных решений обделок подземных сооружений из сборных железобетонных элементов. Здесь приводятся только некоторые из них.

При возведении подземных сооружений небольшого пролета, сооружаемых горным способом работ, нашли применение железобетонные рамы с горизонтальной перекладиной, рамы с криволинейным или ломаным очертанием кровли, устанавливаемые вплотную друг к другу и составляющие сплошное крепление .

На рис. 10 приведена конструкция из железобетонных ребристых плит УРП-1, которые изготовляются восьми типоразмеров и отличаются только длиной (от 1,45 до 2,75 *м*). Из этих плит можно собирать обделку подземных сооружений различных размеров и сечений (прямоугольное, трапециевидное и т. д.). Каждая из плит может входить в конструкцию в качестве стойки, верхняка или подкоса. Ширина элементов любого типоразмера составляет 0,32 *м*. Соединение элементов в раме производится посредством четырех шарнирных

железобетонных вкладышей диаметром 100 *мм* и длиной 750 *мм*, помещаемых в полукруглые выемки на консолях плиты. Плиты имеют одинаковое поперечное сечение.

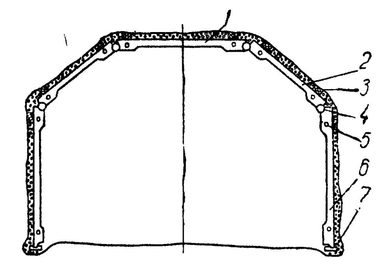


Рис. 10. Рама полигональной железобетонной крепи из плит УРП-1: *1* — верхняк; *2* — подкос; *3* — клин; *4*—шарнирный вкладыш; *5* — межрамный болт; *6* — стойка; *7* — фундаментная плита

Для подземных сооружений, возводимых с помощью щитов и проходческих машин и комбайнов, наибольшее распространение получили сборные конструкции из блоков и тюбингов.

Впервые обделка из железобетонных тюбингов была применена в 1939 г. на строительстве Лондонского метрополитена для перегонных тоннелей протяженностью 4 *км*. Внутренний диаметр этих тоннелей составляет 3,66 *м*. Обделка состоит из 6 больших тюбингов и одного замкового. Высота бортов тюбингов 12,4 *см*, толщина спинки 5 *см*, ширина кольца 50,8 *см*. Вес большого тюбинга составляет 225 *кг*, замкового — 100 *кг*. Обделка из железобетонных тюбингов нашла применение и в дальнейшем строительстве Лондонского метрополитена (рис. 11).

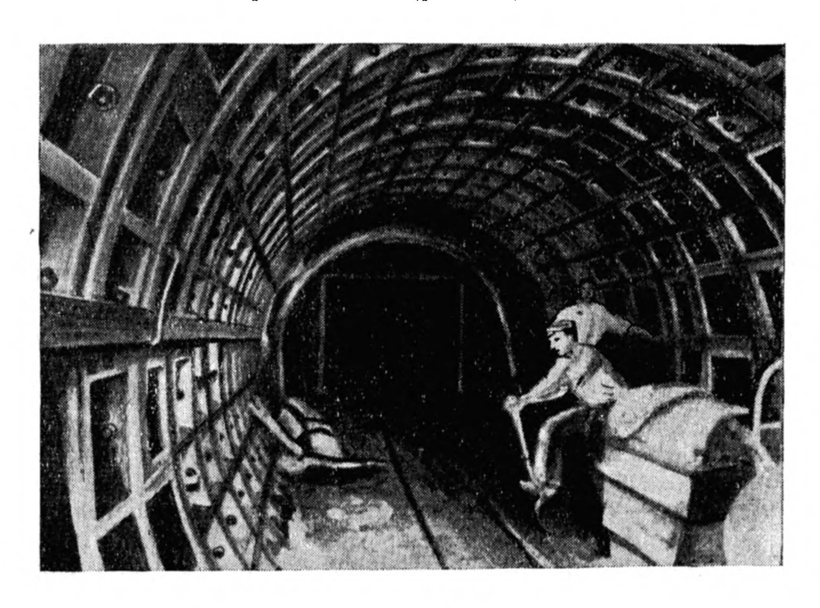


Рис. 11. Перегонный тоннель Лондонского метрополитена с обделкой из железобетонных тюбингов

В Лондоне во время второй мировой войны было сооружено 8 убежищ для населения с внутренним диаметром 5,03 *м* и общей

протяженностью 3,1 *км* с обделкой из железобетонных тюбингов. Конструкция обделки этих убежищ состоит из восьми больших тюбингов и одного замкового (рис. 12). Для увеличения вместимости в убежищах были сделаны промежуточные перекрытия, выполненные из сборного железобетона [35].

Обделка из железобетонных тюбингов применяется за рубежом в подземных сооружениях и другого назначения, имеющих, как пра-

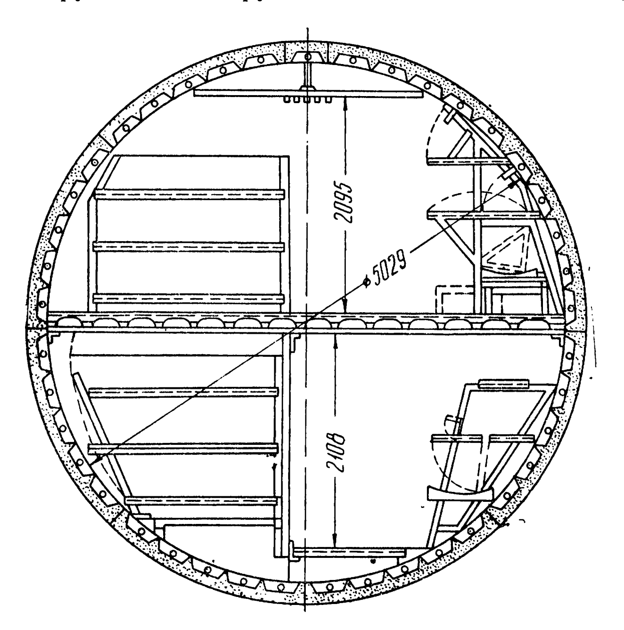


Рис. 12. Поперечное сечение убежища для населения с обделкой из железобетонных тюбингов (Лондон)

вило, небольшой пролет (гидротехнические тоннели, коллекторы и т. д.).

Конструкция перегонного тоннеля Ленинградского метрополитена с внешним диаметром 5,5 *м* состоит из 10 тюбингов: 7 нормальных, 2 смежных и одного замкового. Соединение железобетонных тюбингов в кольцо и колец между собою производится так же, как и соединение чугунных,— болтами. Тюбинги изготовляются из бетона марки «600» при водо-цементном отношении 0,28—0,30. Расход материалов на 1 $м^3$ бетона составляет: цемента марки «500» — 500 *кг*, песка мелкого (0,15—1,0 *мм*) — 145 *кг*, песка крупного (1,0—5,0 *мм*)—425 *кг*, щебня крупностью 5—10 *мм*—220 *кг*, щебня крупностью 10—30 *мм*—1220 *кг*.

Наиболее широкое применение для обделок подземных сооружений, возводимых щитовым способом, нашли сборные бетонные и железобетонные конструкции из блоков. Обделку из сборных бетон-

ных и железобетонных блоков имеют многие подземные сооружения как в нашей стране (Невиномысский гидротехнический тоннель с наружным диаметром 6,5 *м*, толщиной обделки 0,40 *м* и протяженностью 1,4 *км*, Мингечаурский гидротехнический тоннель с внешним диаметром 6,5 *м*, толщиной обделки 0,4 *м* и протяженностью 0,410 *км* и др.), так и за рубежом (тоннели метрополитена в Нью-Йорке с внешним диаметром 6,0 *м*, толщиной обделки 0,45 *м* и общей протяженностью 2,1 *км*, гидротехнический тоннель в Детройте с наружным диаметром 6,3 *м*, толщиной обделки 0,46 *м* и протяженностью 3,7 *км* и др.).

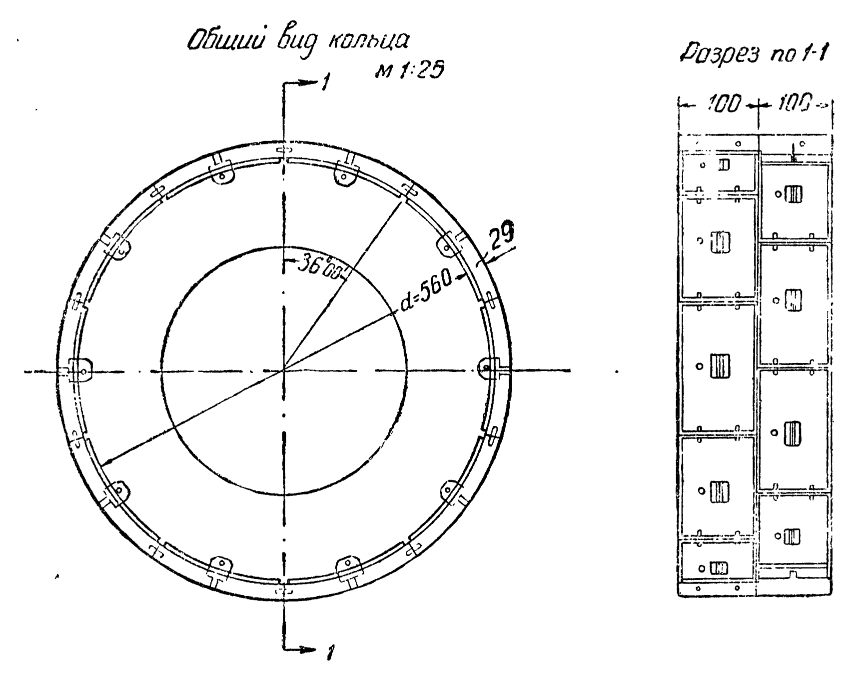


Рис. 13. Обделка перегонных тоннелей Московского метрополитена из железобетонных блоков

Конструктивно обделка подземных сооружений из бетонных и железобетонных блоков может выполняться в различных вариантах: блочные обделки без связей растяжения в стыках, с арматурными стержнями в стыках, с замоноличенными стыками, с перевязкой и без перевязки стыков, с различным количеством элементов в кольце и т. д.

На рис. 13 показана сборная обделка перегонных тоннелей Московского метрополитена из железобетонных блоков. Кольцо шириной 1 *м*, имеющее внешний диаметр 6,1 *м* (толщина кольца 0,25 *м*), состоит из 10 одинаковых блоков. Размер каждого блока по хорде 1,885 *м*. Объем железобетона — 4,6 $м^3$ на 1 *пог. м* тоннеля, а расход

арматуры на 1 $м^3$ бетона — 154 *кг*. Расход материалов на 1 $м^3$ бетона марки «400» составляет: цемента марки «500» — 600—450 *кг*, воды — 135 *кг*, песка — 630 *кг*. Номинальный состав бетона (по весу) 1 : 1,4 : 2,8. Фракции щебня крупностью от 5 до 20 *мм* — 67%, от 20 до 60 *мм* — 33%. Блоки изготовляются без болтовых связей между ними. Для нагнетания за обделку в блоках имеются отверстия диаметром 60 *мм*.

Обделка из железобетонных тюбингов, по сравнению с блочной, имеет следующие недостатки:

— спинка тюбинга имеет небольшую толщину и сделать ее водонепроницаемой труднее, чем блок;

— в местах действия изгибающих моментов, вызывающих растяжение с наружной стороны обделки, спинка тюбинга может полностью оказаться растянутой, вследствие чего в ней образуются сквозные трещины и, следовательно, нарушается водонепроницаемость, независимо от плотности бетона;

— вероятность образования трещин от давления щитовых домкратов в железобетонных тюбингах значительно больше, чем в блоках;

— обделка из железобетоных тюбингов не дает гладкого лотка и вызывает необходимость в дополнительных работах (бетонирование ячеек тюбингов) при применении оклеечной и торкретной изоляции;

— технология изготовления тюбингов является более сложной.

Основным недостатком блочных обделок является их геометрическая изменяемость при монтаже, которая в значительной мере может быть устранена рациональным конструктивным решением или другими мероприятиями (применение монтажных растяжек, кружал жесткой конструкции и т. п.).

Предварительно напряженные конструкции подземных сооружений по способу создания в них предварительного напряжения можно разбить на 4 типа:

1) обжатые обделки, в которых начальное напряженное состояние создается путем нагнетания за обделку растворов при высоком давлении;

2) напряженно-армированные обделки, в которых начальное напряжение создается напряжением арматуры механическим способом;

3) бандажированные обделки, в которых предварительное напряжение создается натяжением стальных бандажей или пучков проволоки, расположенных по наружной поверхности обделки;

4) обжатые обделки, в которых предварительное напряжение создается благодаря энергии расширения раствора за обделкой в ограниченном пространстве.

Обжатые обделки, в которых начальное напряжение создается путем нагнетания раствора за обделку при высоком давлении или благодаря энергии расширения раствора в ограниченном пространстве, имеют по сравнению с другими предварительно напряженными

конструкциями ряд преимуществ (отпадает необходимость в арматуре, анкерах и других приспособлениях, применяемых при механическом способе создания предварительного напряжения, не требуется дополнительного оборудования, материалов, так как нагнетание раствора за обделку является обязательным и т. д.).

Применение предварительно напряженных конструкций в подземном строительстве (по сравнению с обычными конструкциями):

— повышает несущую способность конструкции при одинаковой толщине элементов;

— удешевляет стоимость работ (при одинаковой несущей способности конструкции) благодаря уменьшению толщины конструкции и связанному с этим уменьшению объема разрабатываемой породы;

— улучшает при обжатых обделках гидроизоляционные свойства как самого раствора за обделкой (вследствие самоуплотнения), так и материала обделки (исключается появление трещин, связанных с деформациями конструкции, являющихся источниками фильтрации и разрушения материала обделки);

— улучшает статические условия работы конструкции (сохранение геометрической неизменяемости колец в монтажный период и т. д.).

Обжатые обделки, в которых начальные сжимающие напряжения в конструкции создаются вследствие нагнетания раствора за обделку при высоком давлении, нашли в практике зарубежного подземного строительства наиболее широкое распространение.

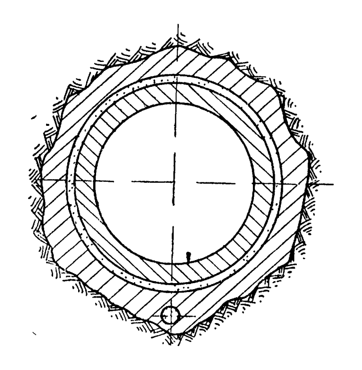


Рис. 14. Предварительно напряженная конструкция по способу инженера А. Кизера

Автором этого способа является инженер А. Кизер [46]. Сущность этого способа заключается в следующем. Цементно-песчаный раствор нагнетается под большим давлением в зазор (рис. 14) между внешним выравнивающим бетонным слоем небольшой толщины и обделкой сооружения (сборной или монолитной). Величина зазора, как правило,— 3 *см*. Максимальная величина давления колеблется в пределах от 8 до 18 *ати*.

Весьма важным условием равномерного обжатия обделки является постоянство зазора между внешним выравнивающим кольцом и обделкой. При обделке из сборных элементов постоянство этого зазора достигается применением сборных элементов, имеющих на наружной поверхности специальные шипы и ребра (рис. 15), которыми они опираются на выравнивающее кольцо. С внутренней стороны обделка из блоков поддерживается опалубкой. Нагнетание раствора производится через специальные отверстия по отдельным зонам, причем ребра — ограничители препятствуют выходу раствора из одной зоны в другую.

При монолитной бетонной обделке постоянство зазора между внешним выравнивающим слоем и обделкой достигается путем устройства промежуточного кольца из сборных фигурных блоков, допускающих свободное заполнение зазора и равномерное обжатие обделки (рис. 16). Блоки этого кольца в верхней его половине или подвешивают к наружному выравнивающему кольцу при помощи

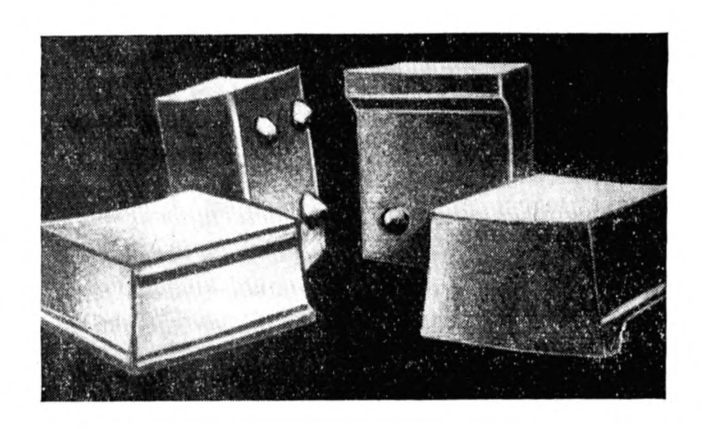


Рис. 15. Элементы сборной обделки с шипами и ребрами

выпусков концов проволоки или поддерживают опалубкой, которая остается в бетоне после возведения монолитной обделки сооружения.

За рубежом возведено много подземных сооружений, имеющих обделку с напряжением по вышеизложенному способу: напорная штольня Фoрарберг (Германия) диаметром 2,4 *м* и длиной 28 *м*, напорная штольня диаметром 6 *м* и длиной 9 *км* и уравнительная башня диаметром 15 *м* гидроэлектростанции Бальдхут (Германия), обводной тоннель диаметром 3,4 *м* и длиной 100 *м* и напорный тоннель диаметром 3,4 *м* и длиной 500 *м* гидроэлектростанции на реке Лана (Италия) и т. д.

В несколько измененном варианте способ инженера А. Кизера применен для создания предварительного напряжения обделки подземного склада горюче-смазочных материалов в военно-морской базе США в Пирл-Харборе. По способу инженера А. Кизера за рубежом возведено до 1956 г. 32 000 $м^2$ поверхностей обделок подземных сооружений [46].

Одним из примеров предварительного напряжения подземных конструкций путем нагнетания раствора за обделку при большом давлении из опыта подземного строительства за рубежом является конструкция напорной штольни Россхауптен, входящей в систему гидросооружений на реке Лех (Западная Германия).

Конструкция этой штольни (рис. 16), имеющей внутренний диаметр 8,35 *м*, состоит из выравнивающего слоя *2*, промежуточ-

ного кольца из фасонных сборных бетонных блоков 3 и круглой бетонной обделки 1 толщиной 0,35 *м*. Монолитная обделка выполнена из бетона, имеющего модуль упругости $E_б = 370\,000$ *кг/см*². Штольня рассчитана на внутреннее давление воды в 3,6 *кг/см*². Зазор, в который нагнетался раствор, составлял 3 *см*. Максимальное давление нагнетания 8 *ати*. Необходимая величина предварительных сжимающих напряжений, с учетом усадки раствора, была определена из условия отсутствия в обделке растягивающих напряжений при самых невыгодных комбинациях нагрузок на конструкцию (горное давление, внешнее гидростатическое и внутреннее давление воды и т. д.) и фактически составила 63 *кг/см*². Продолжительными и обширными исследованиями (42 000 измерений в течение 1000 дней) было установлено отсутствие в конструкции растягивающих напряжений [47].

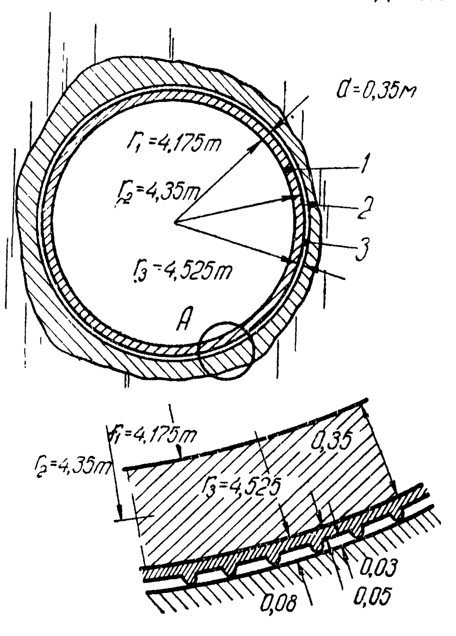


Рис. 16. Предварительно напряженная обделка напорной штольни Россхауптен (Западная Германия)

Напряженно-армированные обделки, в которых начальные напряжения создаются натяжением арматуры механическим способом, получили в практике подземного строительства меньшее распространение, чем обжатые обделки. В практике подземного строительства за рубежом имеется ряд примеров возведения сооружений со сборной железобетонной обделкой, предварительное напряжение которой осуществлено путем механического натяжения арматуры: напорный тоннель гидроэлектростанции в Мареже (Франция) длиной 30 *м* с внутренним диаметром 4,4 *м*, тоннель гидроэлектростанции в Алжире диаметром 2,4 *м*, напорный тоннель гидроэлектростанции в Престоне (Англия) длиной 945 *м* с внутренним диаметром 2 *м* [41], железобетонная крепь с напряженной арматурой сводчатого очертания для закрепления горных выработок, нашедшая применение в шахтном стрительстве в Англии [16] и т. д.

Примером устройства предварительно напряженной подземной конструкции с применением бандажей является обделка канализационных тоннелей в Монтессоне (в районе Парижа) общей протяженностью 2,575 *км*, постройка которых была закончена в 1950 г. Каждое кольцо этих тоннелей имеет ширину 0,55 *м*, толщину 0,40 *м* и состоит из 9 одинаковых блоков весом по 740 *кг*, двух пар неболь-

ших прямоугольных блоков, расположенных на уровне горизонтального диаметра, и одного замкового блока (рис. 17). В каждом блоке имелось отверстие для нагнетания раствора за обделку. С наружной стороны обделки для предварительного напряжения ставилось по одному обручу (бандажу) из легированной полосовой стали шириной 250 *мм* и толщиной 5 *мм*. Укладка блоков осуществлялась эректором. Сборку кольца производили в следующем порядке. Сначала на оболочку щита (тоннели возводились щитовым способом в рыхлых водонасыщенных песках и песчаниках) устанавливали обруч. Его доставляли в виде двух полуколец, а соединяли на оболочке щита при помощи специальных замков по концам вертикального диаметра. Затем по обручу при помощи эректора укладывали блоки. В процессе монтажа блоки прижимали к предыдущему кольцу щитовыми домкратами и поддерживали металлическими стержнями или трубами, пропущенными через выступающие из блоков специальные арматурные петли (рис. 18). По обеим сторонам горизонтального диаметра в промежутках между малыми блоками устанавливали гидравлические домкраты грузоподъемностью 50 *т* каждый, которыми создавалось предварительное напряжение колец. Когда кольцо было замкнуто, домкраты приводились в действие, кольцо обжималось, а наружный обруч натягивался. В образовавшиеся после обжатия зазоры устанавливались клинья, после чего домкраты извлекали из обделки, а окна, в которых они стояли, заделывали бетоном. Величина предварительных напряжений в блоках равнялась примерно 22,5 $кг/см^2$. Затрата металла на обручи составляла 264 *кг* на 1 *пог. м* тоннеля. За сутки (при работе в три смены) собирали 3 кольца. Гидроизоляция стыков блоков осуществлялась расчеканкой швов цементом и устройством торкрет-штукатурки толщиной 7,6 *см* по металлической сетке [35].

Обжатые облицовки, в которых начальные напряжения создаются благодаря энергии расширения раствора за обделкой, в настоящее время получили применение главным образом при строительстве напорных гидротехнических тоннелей.

В Советском Союзе в отдельных случаях применены в практике подземного строительства предварительно напряженные конструкции: предварительно напряженные конструкции основания фундаментов эскалаторов станции Московского метрополитена, опытный участок Верхне-Карабахского тоннеля, предварительное напряжение обделки которого создано путем натяжения наружной кольцевой арматуры специальными натяжными муфтами, опытный участок перегонного тоннеля Киевского метрополитена.

При проектировании сборных бетонных и железобетонных подземных конструкций, кроме предъявляемых к ним общих требований необходимо учитывать следующие:

— конструкции должны выполняться из плотного бетона;

— плотный бетон может быть водонепроницаем только в сжатой зоне бетона, гарантированной от появления трещин растяжения (в

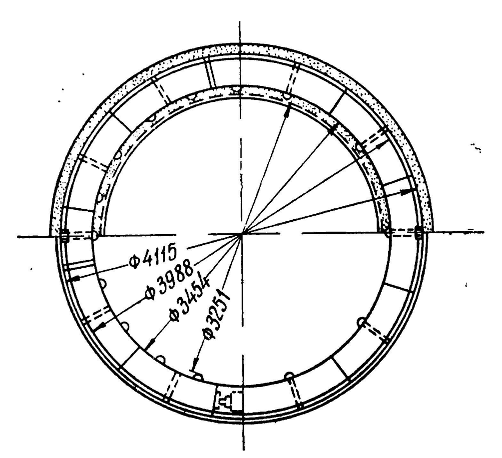


Рис. 17. Конструкция предварительно напряженной обделки канализационных тоннелей в Монтессоне (в районе Парижа)

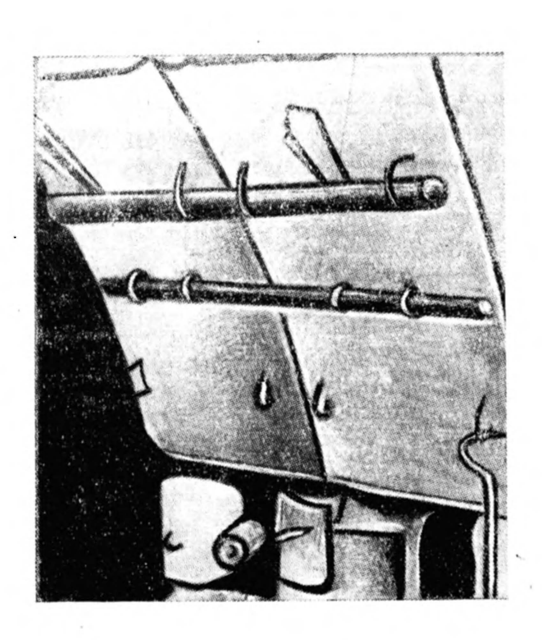


Рис. 18. Предварительно напряженная обделка канализационных тоннелей в Монтессоне (в районе Парижа)

монолитных конструкциях это требование удовлетворяется преднамеренным увеличением толщины сечения обделки);

— конструктивное решение, с учетом принятого способа возведения и организации работ, должно быть направлено на создание конструкции с минимальной геометрической изменяемостью при монтаже.

Наиболее эффективными из сборных конструкций как по условиям статической работы, так и по водонепроницаемости являются предварительно и последовательно напряженные конструкции.

Конструкции полевых подземных сооружений, являясь только сборными, имеют стыки значительной протяженности, через которые проникает в сооружение вода.

Протяженность стыков на 1 *пог. м* полевых подземных сооружений с обделкой из прямоугольных деревянных или железобетонных рам пролетом 1,0, 1,5 и 2,0 *м* (при ширине элементов 0,2 *м* и высоте стоек 2,0 *м*) составляет соответственно 30, 35 и 40 *м*.

ГЛАВА II

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ПОЛЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Борьба с прониканием поверхностных и атмосферных вод в полевые подземные сооружения осуществляется при помощи осушительных и гидроизоляционных конструкций.

Назначение осушительных конструкций состоит в том, что они обеспечивают, с одной стороны, отвод поверхностных и атмосферных вод от элементов, соединяющих основной подземный объем с дневной поверхностью (оголовки, вентиляционные и др. отверстия), и, с другой стороны, сбор проникших через стыки обделки в сооружение вод.

Гидроизоляционные конструкции, в отличие от осушительных, обеспечивают защиту сооружений от проникания в них воды через стыки обделки и являются, следовательно, более эффективными.

§ 1. ОСУШИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОЛЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Для защиты полевых подземных сооружений от поверхностных и атмосферных вод, проникающих через входы и другие отверстия, устраиваются нагорные канавки, дощатые пороги; площадкам входов и начальным участкам входных галерей придается уклон в сторону поля. При отсутствии гидроизоляционных конструкций поверхностные и атмосферные воды, просачивающиеся через поры и трещины в породах, проникают в сооружение через стыки конструкций и отрицательно действуют на состояние обделки, сохранность внутреннего оборудования и создают неудовлетворительные условия для пребывания людей в сооружении.

Для сбора и отвода этих вод устраиваются водосборные и водопоглощающие колодцы. Вода в эти колодцы поступает по канавкам, заложенным под лежнями рам крепления.

Водосборные колодцы устраиваются, как показано на рис. 19, и применяются в том случае, когда подошва сооружения располагается в толще водоупорной породы значительной величины. Воду по мере ее накопления удаляют из колодца насосами или выносят на поверхность ведрами.

Если же водопроницаемый грунт залегает недалеко от подошвы сооружения, устраивают водопоглощающие колодцы (рис. 20),

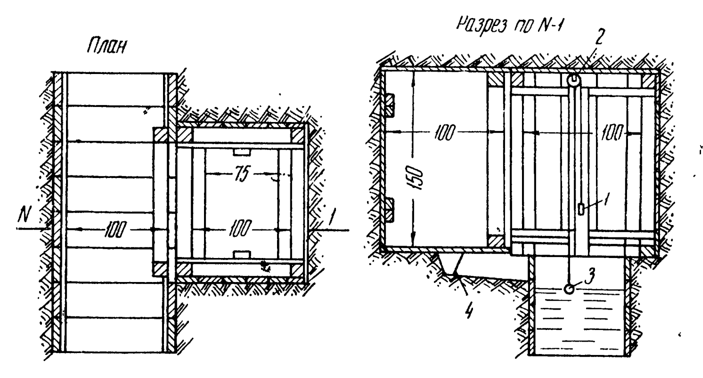


Рис. 19. Водосборный колодец: *1* — грузик; *2* — блок; *3* — поплавок; *4* — водоотводная канавка вдоль галереи

закладываемые камнями или гравием, а сверху соломой, которая задерживает мелкие частицы грунта, приносимые водой. Время от времени солома заменяется свежей.

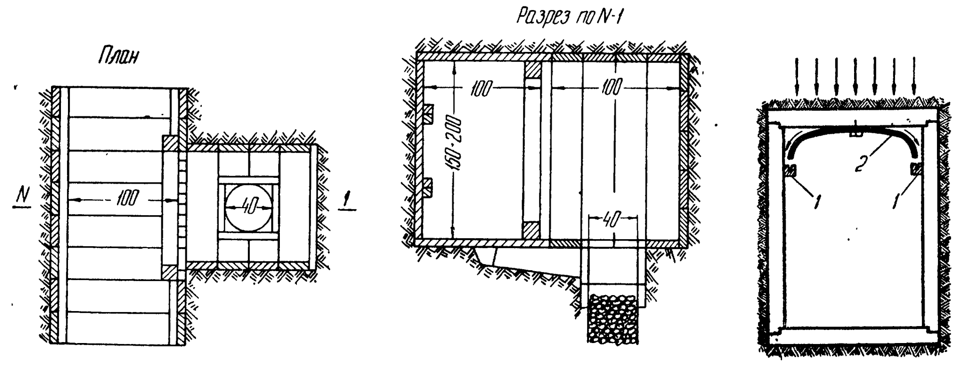


Рис. 20. Водопоглощающий колодец

Рис. 21. Отвод воды при помощи зонта: *1* — желобок для стока воды: *2* — зонт из жести или фанеры

Для отвода воды, капающей с потолка, могут применяться железные или фанерные зонты (рис. 21). Вода, стекающая с них, попадает в желобки, по которым направляется в колодцы. Существенными недостатками зонтов являются:

— уменьшение полезного сечения и без того суженного подземного объема;

— ненадежность конструкции (при обделке из деревянных рам, не обработанных антисептиками, возможны случаи обрушения зонтов из-за быстрого разрушения дерева);

— необеспеченность сооружения от проникания в него воды через стыки боковых стенок.

В целях уменьшения притока воды в полевые подземные сооружения рекомендуется во всех случаях производить закладку пространства между породой и обделкой глиной.

§ 2. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОЛЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Гидроизоляционные конструкции полевых подземных сооружений могут выполняться из битумных паст и мастик, мастики «гидроизомаст» и рулонных материалов.

а. Гидроизоляция при помощи битумных паст и мастик

Битумные пасты представляют собой полутвердый материал, получаемый путем механического дробления (диспергирования) расплавленного битума в известковом, глиняном или другом тесте.

Основными достоинствами битумных паст, обеспечивающими эффективность и целесообразность их применения для гидроизоляции подземных сооружений, являются:

— возможность нанесения их на мокрые поверхности (в том числе и на грунты);

— высокая экономичность;

— простота изготовления и нанесения на изолируемую поверхность, обеспечивающие возможность приготовления паст и устройства этой изоляции силами войск;

— возможность длительного хранения их (в течение одного года и более) и хорошая транспортабельность.

Материалами для изготовления паст служат нефтяные битумы, эмульгаторы (глина, суглинки, лёсс, известь и т. д.) и вода.

Из различных марок нефтяных битумов наиболее пригодным является битум марки БН-III (ГОСТ 1544—52), а из эмульгаторов, в условиях полевого строительства, высокопластичные и пластичные глины и суглинки (первые более предпочтительны). Не исключается также возможность применения в качестве эмульгаторов гашеной и негашеной извести и т. д.

Пригодность эмульгатора устанавливается:

— по внешнему виду;

— определением пластичности;

— изготовлением пробной партии.

Грунты по пластичности делятся на:

— высокопластичные, при числе пластичности, большем 15;

— пластичные, при числе пластичности от 7 до 15;

— непластичные, при числе пластичности, меньшем 7.

Для определения пластичности в полевых условиях, если отсутствуют данные полевой лаборатории, берется кусок глины, который потом подвергается трению тупым концом деревянной или стеклянной палочки. Если полученный желобок имеет блестящую поверхность, глина считается пластичной и пригодной для изготовления пасты.

Для изготовления битумных паст рекомендуются следующие рецепты (по весу):

1) 40—45 частей битума, 12—13 частей негашеной извести и 48—42 части воды;

2) 50—55 частей битума, 8—10 частей глины и 42—35 частей воды (при применении высокопластичных глин);

3) 45—55 частей битума, 10—14 частей глины и 45—31 часть воды (при применении пластичных глин);

4) 40—50 частей битума, 15—20 частей суглинка или лёсса и 45—30 частей воды.

Технология изготовления битумных паст проста, благодаря чему производство их в полевых условиях силами войск не вызывает серьезных затруднений.

Пасты могут изготовляться ручным или механизированным способом. Для изготовления паст необходимо иметь:

а) при механизированном способе:

— лопастную мешалку с горизонтальной или вертикальной осью;

— котел для расплавления битума и удаления из него воды;

— мерную тару для подачи материалов;

б) при ручном способе (кроме котла для расплавления битума и удаления из него воды):

— рабочий котел для варки пасты;

— деревянные весла для перемешивания массы;

— мерную тару для подачи материалов (в полевых условиях в качестве мерной тары могут быть использованы тщательно протарированные бачки и ведра).

Загрузка битума в мешалку может производиться при ручном способе изготовления ведрами, при механизированном — путем перекачки битума насосами. Для этой цели, в частности, может быть использован шестеренчатый битумный насос Д-125.

Технологический процесс изготовления битумных паст состоит из подготовки материалов и изготовления самой пасты. Работа по подготовке материалов заключается (при применении в качестве эмульгатора глины или суглинков) в расплавлении битума и удалении из него воды и в приготовлении теста из эмульгатора и воды.

Расплавление битума и удаление из него воды производится в передвижных или стационарных битумных котлах.

Наша отечественная промышленность выпускает передвижные битумные котлы емкостью 150, 250, 400, 500, 1000 и 3000 литров. Битум в этих котлах при постоянном перемешивании подогревается до температуры 160—180°.

Для изготовления теста эмульгатор загружается в растворомешалку (при механизированном способе) или в рабочий котел (при ручном способе) в количестве, предусмотренном рецептом для изготовления пасты, и туда же при постоянном перемешивании добавляется порциями вода до получения однородной массы (теста), которая должна иметь консистенцию «густой сметаны».

Изготовление пасты производится при механизированном способе в растворомешалке, при ручном способе — в рабочем котле. Порядок работ по изготовлению паст следующий: в подогретое до температуры 96—98° тесто подливается небольшими порциями битум и перемешивается с тестом. Если смесь получается слишком густой и перемешивание затруднено, необходимо к ней добавлять постепенно, до требуемой консистенции, кипящую воду. Перемешивание в растворомешалке производится до тех пор, пока смесь не обратится в темно-серую массу, не имеющую отдельных блестков непроэмульгированного битума. После этого приготовление пасты считается законченным.

Непременными условиями получения паст хорошего качества является высокая температура смеси в растворомешалке (не ниже 130—160°), а также быстрое вращение оси растворомешалки. Оценка качества готовой пасты в полевых условиях производится по внешнему виду.

Готовые пасты должны быть матовыми и мелкодисперсными, во всей массе без комочков, заметных на глаз, без затруднения перемешиваться с водой (не должно наблюдаться распада пасты).

Отдельные свойства битумных паст приведены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства битумных паст

Наименование эмульгатора	Состав по весу, %			Свойства битумных паст				
	битум марки БН-III	эмульгатор	вода	удельный вес	объемный вес, *т/м³*	неоднородность на сите с отверстиями 1 *мм*, %	способность разводиться водой	вязкость, *стоксов*
Кембрийская глина . .	50	12	38	1,08	1,04	0,36	Разводятся водой в 10-кратном количестве	5,3
Гашеная известь	44	12	44	1,07	1,02	0,68		—
Трепел	50	12	38	1,96	1,06	7,9		3,3

Тарой для готовой пасты могут служить закрытые бетонированные ямы, железные котлы, бочки, плотно сколоченные деревянные

ящики и другие емкости, защищающие ее от потери воды. В деревянной таре, в целях предохранения от вытекания воды, щели с внутренней стороны промазываются горячим битумом, дегтем.

Битумные пасты могут храниться в течение одного года и более при соблюдении определенных требований при их хранении. При хранении более 1—1,5 месяцев пасту необходимо периодически перемешивать. В случае повышения консистенции к пасте добавляется холодная вода и вся масса тщательно перемешивается. В летнее время года паста должна быть защищена от солнца. При температуре воздуха ниже 0° пасту хранят в утепленном помещении. На непродолжительный срок пасту хранят в открытой таре, но с тем, чтобы на поверхности ее был слой воды.

Порядок производства работ по устройству гидроизоляции подземных сооружений при помощи битумных паст следующий. Битумная паста в соответствующей таре доставляется к месту производства работ или со склада (в случае заблаговременного изготовления) или с места изготовления ее. После оценки по внешнему виду пригодности пасты ее перемешивают и, если нужно, разбавляют водой до требуемой консистенции. После этого пасту доставляют в подземное сооружение и приступают к производству работ по гидроизоляции стыков обделки сооружения. Работы по гидроизоляции при помощи битумных паст производят как в процессе возведения сооружений, так и после полного его окончания.

Промазку швов сборной обделки полевых подземных сооружений битумными пастами производят при помощи волосяных кистей или кистей, изготовленных из рогожи, и другого инвентаря, употребляемого при производстве обычных малярных и штукатурных работ. Толщина наносимого слоя 4—6 *мм*. Через 2—3 часа образуется водонепроницаемая пленка. Пленку осматривают и, если обнаруживают дефекты (разрывы и т. п.), отдельные места снова покрывают битумной пастой. Пленка со временем (1—2 дня) окончательно затвердевает и приобретает достаточную механическую прочность, способную противостоять действию не только ненапорных поверхностных и атмосферных вод, но и вод небольшого напора. Водонепроницаемая пленка может состоять из нескольких слоев (каждый последующий слой наносится после образования пленки предыдущим слоем) и достигать общей толщины до 10 *мм* и более. Для повышения механической прочности к пастам перед их употреблением рекомендуется добавлять цемент (10—12% веса). Прибавление цемента, особенно быстросхватывающегося и быстротвердеющего, благоприятно сказывается на сроках образования водонепроницаемых пленок и их механической прочности. В случае нарушения цельности пленок в результате пребывания людей в сооружении (проколы оружием и т. п.) поврежденные места вторично промазываются битумной пастой.

Расход битумных паст на 1 *пог. м* полевых подземных сооружений пролетом до двух метров при средней толщине водонепроницаемой

пленки 5 *мм* составляет ориентировочно 0,01 *м*³, а стоимость материала — в среднем 2 руб.

Битумные пасты нашли применение в народном хозяйстве для защиты от ржавления железа, при ремонте дорог, гидроизоляции водоемов и резервуаров.

Битумные мастики представляют собой смесь битумных паст с порошкообразными заполнителями. В качестве заполнителей могут быть использованы кирпичный, доломитовый порошки, пылеватый песок, цемент.

Свойства битумных мастик зависят как от соотношения исходных компонентов, так и от их свойств (дисперсность и т. д.). В табл. 4 приведены данные о составах битумных мастик, показавших водонепроницаемость при 10 *ати* [25].

Таблица 4

Составы битумных мастик, показавших водонепроницаемость при 10 ати

Наименование битумных паст	Составы паст по весу, %			Заполнители	Составы (в частях веса) мастик, водонепроницаемых при давлении 10 *ати*		
	битум марки БН-III	эмульгатор	вода		пасты	порошка	воды
Глиняно-битумная паста	50	12	38	Кирпичный порошок	85 80 70	15 20 30	10 12 15,7
Глиняно-битумная паста	50	12	38	Доломитовый порошок	70 60 50	30 40 50	16 14 20
Известково-битумная паста . . .	44	12	44	Кирпичный порошок	85 80	15 20	10 12
Известково-битумная паста . . .	44	12	44	Доломитовый порошок	85 60	15 40	10 18

При проведении испытаний на водонепроницаемость мастики толщиной 5 *мм* наносились на поверхность водопроницаемых плиток из цементного раствора со стороны давления. Режим испытаний: при напоре 1, 3, 5 *ати* образцы находились под давлением в течение двух часов на каждой ступени и в течение двух суток при давлении 10 *ати*.

Из других свойств мастик, представляющих интерес с точки зрения использования их для гидроизоляции полевых подземных сооружений, следует отметить, что битумные мастики:

— имеют вязкость, позволяющую механизировать процесс нанесения их на изолируемую поверхность;

— имеют прочность сцепления с основанием: при отрыве 0,38—1,29 *кг/см²*, при растяжении 0,78 — 2,67 *кг/см²*, при сдвиге 1,06 — 1,59 *кг/см²* (в зависимости от состава мастики, материала и состояния изолируемой поверхности).

Еще более эффективными показателями обладают битумные мастики с применением в качестве заполнителя цемента. Добавка цемента благоприятно сказывается на всех основных свойствах битумных мастик.

В табл. 5 приведены данные по отдельным показателям битумных мастик с цементным заполнителем.

Таблица 5

Свойства битумных мастик при использовании в качестве заполнителя цемента

Наименование свойств	М-1	М-2	М-3	М-4
Весовой состав мастики, %:				
глиняно-битумной пасты	60	50	40	30
портландцемента марки «400»	30	40	40	50
воды	10	10	20	20
Объемный вес в сухом состоянии, *т/м³*	1,07	1,16	1,27	1,5
Предел прочности на сжатие в возрасте 28 суток (при $t = 22°$ C), *кг/см²*	9,9	20,2	22,7	48,8

Ориентировочная стоимость 1 *м³* мастики (при исходных компонентах, указанных в табл. 5) с цементным заполнителем и стоимость гидроизоляции 1 *пог. м* полевых сооружений с поперечным сечением 2 × 2 *м* (при ширине элементов сборной обделки 0,2 *м*) приведены в табл. 6. Подсчеты выполнены при следующих исходных данных: стоимость 1 *м³* битумной пасты — 200 руб., 1 *т* цемента марки «400» — 153 руб., объемный вес цемента $\gamma_ц = 1{,}3$ *т/м³*.

Таблица 6

Расход и стоимость мастики

	М-1	М-2	М-3	М-4
Расход на 1 *м³* мастики, *т*:				
битумной пасты	0,662	0,562	0,446	0,344
цемента	0,331	0,450	0,486	0,573
Стоимость 1 *м³* мастики, руб.	178	177	160	156
Ориентировочный расход мастики на 1 *пог. м, м³*	0,01	0,01	0,01	0,01
Стоимость материала для гидроизоляции 1 *пог. м*, руб.	1,78	1,77	1,60	1,56

б. Гидроизоляция с применением мастики «гидроизомаст»

Гидроизоляционная мастика «гидроизомаст» состоит из двух компонентов (по весу): асидол-мылонафта 35—40% и водонепроницаемого безусадочного цемента 60—65%.

Мастика «гидроизомаст» должна отвечать следующим требованиям [7]:

— сразу же после затворения представлять собой подвижную сметанообразную массу, загустевающую не ранее, чем через 15 *мин;*

— в свежеизготовленном состоянии, т. е. до начала загустевания, хорошо прилипать к изолируемой поверхности и легко разравниваться на ней слоем толщиной до 5 *мм;*

— после затворения водой не размываться и не размокать в воде (шарик из мастики, опущенный в воду через 15 *мин* после затворения, должен сохранять свою форму и затвердевать в ней);

— иметь объемный вес не менее 1,5 $т/м^3$;

— иметь предел прочности при сжатии кубиков $2\times2\times2$ *см* через 3 суток при $t = +10°$ С не менее 5 $кг/см^2$;

— иметь предел прочности при растяжении восьмерки с площадью сечения шейки 5 $см^2$ через трое суток при $t = +10°$ С не менее 1 $кг/см^2$;

— обладать сцеплением с изолируемой поверхностью через 3 суток при температуре $t + 10°$ С не менее 5 $кг/см^2$.

Асидол-мылонафт, применяемый для изготовления мастики, должен отвечать требованиям, изложенным в ГОСТ 3854—47 для 1-го и 2-го сортов. Асидол-мылонафт транспортируется к месту работ в плотно закрытых крышками банках из оцинкованной жести.

Водонепроницаемый безусадочный цемент (ВБЦ), применяемый для изготовления мастики «гидроизомаст», должен отвечать техническим условиям ТУ 69—50 МСПТИ [1]. Транспортирование ВБЦ к месту работ следует производить в закрытых крышками банках.

Порядок гидроизоляционных работ с применением мастики «гидроизомаст» следующий.

К месту работ доставляются исходные компоненты в количестве, потребном для выполнения всего объема работ. Мастика приготовляется путем добавления ВБЦ в асидол-мылонафт и тщательного перемешивания смеси деревянным шпателем, изготовляемым из сухого дерева твердых пород. Наибольшее распространение получил шпатель шириной 160 *мм.*

Мастика считается готовой после того, как при перемешивании шпателем смесь приобретает однородную, без сгустков и комков цемента, консистенцию. Мастика приготовляется небольшими порциями, которые должны быть израсходованы не позднее, чем через 15 *мин* после окончания ее перемешивания.

После затворения водой до требуемой консистенции мастикой промазывают швы (слоем до 5 *мм*) сборной обделки полевых сооружений. Мастику наносят щетками, шпателями. После окончания работ весь инвентарь очищается скребком от остатков мастики.

Для производства работ по гидроизоляции с использованием мастики «гидроизомаст» требуется следующий инвентарь:

— банки для доставки асидол-мылонафта;
— банки для доставки ВБЦ;
— мерник для асидол-мылонафта;
— мерник для ВБЦ;
— противень для приготовления мастики;
— шпатель для перемешивания и нанесения мастики;
— скребок для очистки инвентаря.

Гидроизоляция с применением мастики «гидроизомаст» обеспечивает защиту полевых подземных сооружений не только от ненапорных вод, но и от вод небольшого напора.

Большим достоинством этой мастики является возможность изготовлять ее силами войск в любом месте строительства и выполнять все гидроизоляционные работы в кратчайшие сроки.

в. Гидроизоляция с применением кровельных и гидроизоляционных рулонных материалов

К рулонным кровельным материалам относятся: пергамин, толь-кожа, толь и руберойд, а к гидроизоляционным — гидрозол, металлоизол, борулин.

Наиболее широкое применение для изоляции полевых подземных сооружений от поверхностных и атмосферных вод из числа рулонных материалов найдут пергамин, толь-кожа, толь, руберойд.

Не исключается также возможность применения в отдельных случаях для этих целей и более дорогостоящих гидроизоляционных рулонных материалов.

Пергамин представляет собой рулонный материал, изготовленный путем пропитки кровельного картона нефтяными битумами.

В отличие от пергамина толь-кожа изготовляется путем пропитки кровельного картона каменноугольными или сланцеватыми материалами. Толь кровельный отличается от толь-кожи тем, что обе его стороны посыпаны песком.

Руберойд представляет собой кровельный рулонный материал, изготовленный путем пропитки кровельного картона мягкими нефтяными битумами с последующим покрытием его тугоплавкими нефтяными битумами с одной стороны (руберойд односторонний) или с двух сторон (руберойд двухсторонний). Руберойд всех видов должен иметь в покровном слое наполнитель, в качестве которого применяется тальк, асбест, сланцевая мука и т. д. Из различных марок руберойда наиболее подходящими для изоляции полевых подземных сооружений является руберойд марки РМ-500 и РМ-350.

Пригодность рулонных кровельных материалов в полевых условиях определяется по их внешнему виду. Рулонные кровельные материалы должны отвечать следующим требованиям:

— не иметь светлых прослоек непропитанной основы, посторонних включений, а также трещин, дыр, разрывов и складок;

— легко раскатываться, не давать трещин: покровные (руберойд и толь) при температуре не ниже +10°, беспокровные битумные (пергамин) не ниже +5°, беспокровные дегтевые (толь) — не ниже +8°.

Основные характеристики рулонных кровельных материалов (ширина полотна, общая площадь, вес рулона и стоимость), выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Рулонные кровельные материалы, выпускаемые отечественной промышленностью

Наименование материалов и марки	Площадь рулона, *м²*	Ширина полотна, *мм*	Вес одного рулона, *кг*	Свойства: сопротивление разрыву полоски шириной 50 *мм*	Свойства: отсутствие трещин при изгибании на полуокружности стержня диаметром, *мм*	Стоимость 1 *м²* для 1-го территориального района
Пергамин (ГОСТ 2697-51):						
П-350	20∓0,5	1 000 и 750	13	27	10	0,85
П-300			11	25		0,79
П-250			9	22		0,69
П-200			7	20		0,59
Толь-кожа (ГОСТ 1887-51):						
ТК-350	30∓0,5	1 000 и 750	20	30	10	1,0
ТК-300			17	27		1,0
ТК-250			14	25		1,0
ТК-200			11	22		1,0
Руберойд двухсторонний (ГОСТ 2165-51):						
РМ-500	20∓0,5	750	30	36	20	1,6
РМ-350		1 000	24	32		1,2
Толь (ГОСТ 1886-52):						
Т-350	15∓0,5	1 000	15	28	20	1,4
Т-300		750	15	23		1,4

Для полевых подземных сооружений наиболее предпочтительной является ширина полотна рулонных материалов 1 *м*. Гидроизоляция полевых подземных сооружений от поверхностных и атмосферных вод при помощи рулонных материалов осуществляется путем обшив-

ки с внутренней стороны потолка и боковых стен сооружения рулонными материалами с использованием тех же планок, которыми соединяются между собой отдельные рамы деревянной обделки.

Порядок производства работ следующий. Определяется пригодность рулонных материалов к употреблению по внешнему виду, после чего рулон раскатывается и разрезается на отдельные куски, длина которых зависит от протяженности сооружения (при длине сооружения до 10 *м* рекомендуется производить обшивку сразу на всю дли-

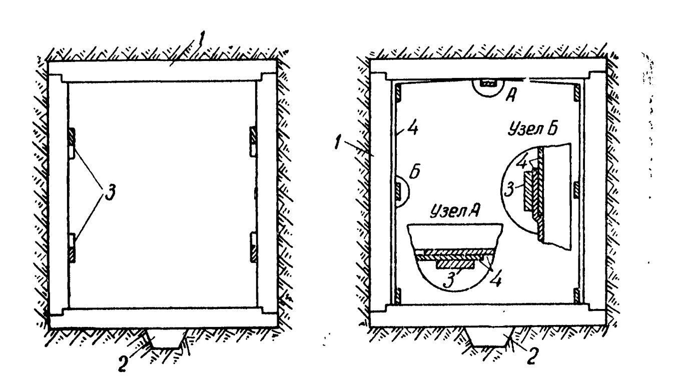


Рис. 22. Гидроизоляция полевых подземных сооружений при помощи рулонных материалов: *1* — деревянная обделка из прямоугольных рам; *2* — водоотводная канавка; *3* — соединительные планки; *4*— обшивка из рулонных материалов

ну). Дальнейший порядок работ по изоляции при помощи рулонных материалов иллюстрируется на примере устройства подобной гидроизоляции для полевого подземного сооружения, имеющего сечение в свету 1,5 × 1,8 *м*.

Предварительно снимаются с обеих сторон нижние соединительные планки, а затем куски рулонного материала раскатываются по длине сооружения и одним из концов прикрепляются соединительными планками в самой нижней точке боковых стенок на всю длину куска. В дальнейшем в такой же последовательности производится наращивание обшивки из рулонных материалов, по всему периметру сооружения и концы полотнищ соединяются между собой внахлестку на 8—10 *см*. Обшивка под потолком сооружения должна иметь небольшой уклон в сторону боковых стенок (рис. 22).

При наличии битумных паст или мастики швы между рулонными материалами и соединительными планками промазываются.

При протяженности сооружений свыше 10 *м* обшивка обделки сооружения рулонными материалами производится отдельными участками. Обшивка может состоять из одного или нескольких слоев рулонного материала. Рекомендуемое число слоев 1—2. Места раз-

рывов в гидроизоляционной обшивке (проколы оружием и т. п.) рекомендуется промазывать битумной пастой или мастиками.

Гидроизоляция полевых подземных сооружений при помощи рулонных материалов — эффективный, простой и недорогой способ борьбы с прониканием поверхностных и атмосферных вод через стыки сборной обделки этих сооружений.

При обшивке полевых сооружений пролетом до 2 *м* расход рулонных материалов на 1 *пог. м* (при ширине полотна 1 *м*) составляет 6 $м^2$, а стоимость материала при одном слое пергамина марки П-350 — 5 руб.

ГЛАВА III

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Борьба с прониканием воды в долговременные подземные фортификационные сооружения осуществляется целым комплексом мероприятий, различных по своему характеру и направленных:

— на создание внутренних или наружных гидроизоляционных конструкций;

— на придание водоупорности грунтам;

— на отвод воды от сооружения;

— на повышение водонепроницаемости материала обделки сооружения.

В данной работе рассматриваются только гидроизоляционные конструкции, препятствующие прониканию воды в сооружение (жесткая, оклеечная, металлическая, обмазочная, пластичная, комбинированная, специальная изоляции), а также способы, направленные на повышение водонепроницаемости подземных конструкций.

Вопросы, связанные с понижением уровня грунтовых вод, силикатизацией, цементацией, битумизацией грунтов, относящиеся к общестроительным работам, нами не рассматриваются.

§ 1. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

а. Жесткая гидроизоляция

Жесткая гидроизоляция представляет собой плотный слой штукатурки, уложенный на наружную или внутреннюю поверхность. Жесткая изоляция делится на торкретные штукатурки и штукатурки с уплотняющими добавками.

Для нанесения водонепроницаемого слоя торкретным способом служит специальная установка (рис. 23), которая включает в себя цемент-пушку, компрессор, воздухоочиститель, водяной бак, шланги и сопло. Сухая смесь цемента и песка засыпается в цемент-пушку, откуда под давлением сжатого воздуха подается гибким шлангом к месту работ. Во время движения через сопло, расположенное на

конце шланга, смесь увлажняется водой, подводимой к соплу специальным шлангом, и наносится на торкретируемую поверхность. Ком-

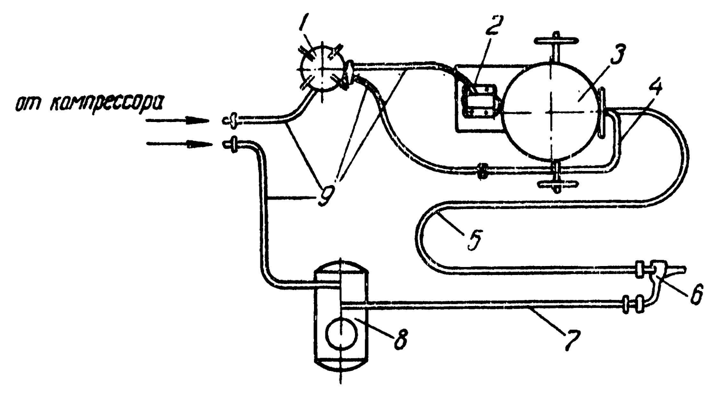


Рис. 23. Схема торкретной установки: *1* — воздухоочиститель; *2* — воздушный мотор; *3* — цемент-пушка; *4* — металлический трубопровод цемент-пушки; *5* — материальный шланг; *6* — сопло; *7* — водяной шланг; *8* — водяной бак; *9* — воздушные шланги

прессор служит для подачи сжатого воздуха и располагается вдали от торкретируемого участка. Воздухоочиститель служит для очистки

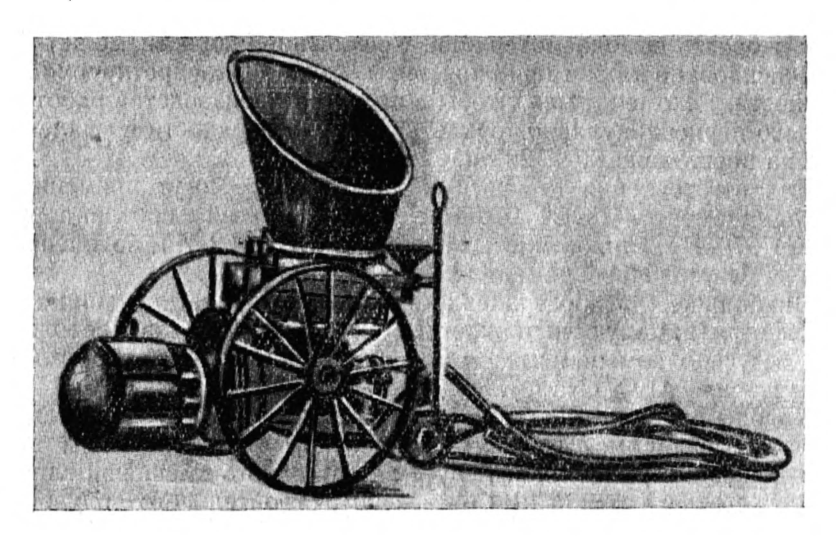


Рис. 24. Цемент-пушка С-320

сжатого воздуха от масла и влаги. Шланги применяются длиной 30—40 *м* и более (но не свыше 120 *м*).

Для торкретирования могут быть использованы цемент-пушки различных типов: СССМ-67, С-165, С-320 (рис. 24) и др.

Техническая характеристика цемент-пушки С-320, изготовляемой Ростокинским заводом строительных машин:

Производительность по сухой смеси, *м³/час*	1,5
Средняя толщина слоя, наносимого за один прием, *мм*	20
Максимальное давление воздуха, *атм*	3,5
Дальность подачи сухой смеси по шлангу $d = 38$ *мм*, *м*	30
Мощность электродвигателя, *квт*	4,5
Габаритные размеры, *мм:*	
длина	1500
ширина	900
высота	1650
Вес без шлангов, *кг*	850

Качество торкрета в большой степени зависит от скорости, с которой набрызгиваемый материал ударяется о поверхность.

Оптимальная скорость выхода материала из сопла (для получения наибольшей плотности) находится в пределах 135—170 *м/сек.*

Скорость выхода должна назначаться в зависимости от диаметра наконечника сопла и его расстояния от торкретируемой поверхности. Так, для наконечника с $d = 19$ *мм* оптимальная скорость составляет 135—140 *м/сек,* а наилучшее расстояние — около 0,9 *м;* для наконечника с $d = 32$ *мм* оптимальная скорость равна 155—170 *м/сек,* а наилучшее расстояние — около 1,2 *м.*

Вообще, чем больше диаметр наконечника, тем больше должна быть скорость выхода материала. Увеличение скорости может быть компенсировано также приближением сопла к торкретируемой поверхности. Рекомендуется, чтобы в процессе производства работ сопло было перпендикулярно торкретируемой поверхности и удалено от него на расстояние 80—120 *см.*

Для изготовления торкретных штукатурок могут применяться: портландцемент (ГОСТ 970-41), пуццолановый портландцемент (ГОСТ 970-41), глиноземистый цемент (ГОСТ 969-41), водонепроницаемый безусадочный цемент (ТУ—69-50 МСПТИ).

Наибольшее распространение в практике торкретирования за последнее время получили торкретные штукатурки на водонепроницаемом безусадочном цементе и портландцементе с добавкой алюмината натрия ($Al_2O_3 \cdot Na_2O$).

Водонепроницаемый безусадочный цемент (ВБЦ) является быстросхватывающимся и быстротвердеющим гидравлическим вяжущим веществом, получаемым путем тщательного смешения глиноземистого цемента марки не менее «400», строительного полуводного гипса 1-го или 2-го сорта с известью-пушонкой (ГОСТ 1174-51), взятых в определенных соотношениях.

В составе ВБЦ весовое содержание глиноземистого цемента должно быть не менее 85%, а отношение гипса и извести — не менее 1 : 1.

Наряду с другими показателями ВБЦ должен отвечать по водонепроницаемости следующим требованиям.

Образцы из цементно-песчаного раствора нормальной густоты состава 1 : 2 (по весу) должны быть водонепроницаемыми при испытании их: через 1 час от начала затворения при давлении в 1 *атм*, через 1 сутки — при давлении в 5 *атм*.

Работами Я. Н. Новикова [1] по исследованию ВБЦ различных рецептур установлена возможность получения водонепроницаемого безусадочного цемента для гидроизоляции подземных сооружений с более стабильными свойствами во времени.

В результате этих исследований установлено, что при создании водонепроницаемой штукатурки типа торкрет наиболее отвечает требованию гидроизоляции подземных сооружений водонепроницаемый безусадочный цемент следующего состава:

Для ВБЦ, изготовляемого на извести-пушонке, в %:
- глиноземистого цемента марки «400»—«500» . . . . 86 - 88
- полуводного гипса . . . . 6—7
- извести-пушонки . . . . 6—7

Для ВБЦ, изготовляемого на гидроалюминате кальция, в %:
- глиноземистого цемента марки «400»—«500» 75
- гидроалюмината кальция 18
- полуводного гипса 7

Состав ВБЦ подбирается в результате испытания трех опытных смесей, в которых, в зависимости от способа введения кальциевой извести, принимается отношение между составными компонентами, согласно табл. 8.

Таблица 8

Составы ВБЦ, применяемые для торкретирования

Компоненты	Состав, %					
	при введении извести-пушонки в количестве			при введении извести в составе гидроалюмината кальция в количестве		
	6	7	8	12	14	16
Глиноземистый цемент . .	88	86	84	82	79	76
Полуводный гипс	6	7	8	6	7	8

Наряду с теоретическими и лабораторными исследованиями, покрытия из водонепроницаемых безусадочных цементов вышеуказанных составов были опробованы на объектах строительства Московского метрополитена, в подземной транспортной галерее московского цементного элеватора и в других сооружениях.

На строительстве Московского метро при устройстве торкретной штукатурки применялся ВБЦ, в состав которого было введено 6% извести-пушонки и 6% полуводного гипса. Цементно-песчаный раствор состава 1 : 2 приготовлялся смешением цемента с высушенным

[1] Я. Н. Новиков. Водонепроницаемый цемент для гидроизоляции подземных сооружений. Трансжелдориздат, 1954.

песком, просеянным через сито с отверстиями $d = 5$ *мм*. Раствор наносился при помощи цемент-пушки ССМ-67, а давление регулировалось редуктором в пределах 2,5—4 *атм*. Торкретирование велось послойно в три приема. Новый слой наносился через 15 минут после нанесения предыдущего. Общая толщина покрытия составляла 3—4 *см*. Для обеспечения нормального режима твердения покрытие смачивалось водой через 1 час, а затем через 3 и 6 часов после его укладки.

Торкретная гидроизоляция из ВБЦ (состав 1 : 2) по металлической сетке с прутками $d=6$ *мм* и ячейками 100 *мм* была применена в транспортной галерее (длина 60 *м*) московского цементного элеватора. Сетка устанавливалась после очистки поверхности пескоструйным аппаратом и закреплялась на расстоянии 1 *см* от поверхности обделки специальными анкерами, заделанными в обделку. Общая толщина покрытия составила 5—6 *см*.

Как на строительстве метро, так и на московском цементном элеваторе при применении торкрета из ВБЦ удалось устранить приток грунтовых вод внутрь сооружения, который до начала работ составлял около 80 *м*^{3}/*сутки*.

Периодические наблюдения за состоянием гидроизоляционных покрытий на вышеуказанных объектах показали, что покрытие оказалось безусадочным, оно не отслаивается от изолируемой поверхности, водонепроницаемо и не имеет трещин.

Добавка алюмината натрия к растворам на портландцементе, применяемым для торкретирования, снижает их водопроницаемость.

Алюминат натрия приготовляется в виде раствора с удельным весом 1,44. Портландцемент с добавкой алюмината натрия, применяемый для торкретирования, должен иметь марку не ниже «400». Приготовление растворов и бетонов с добавкой алюмината натрия отличается тем, что для их затворения применяется не вода, а раствор алюмината натрия. Для этого к воде затворения добавляется раствор алюмината натрия с удельным весом 1,44 в соотношениях 1 : 15, 1 : 10 или 1 : 6 по объему. При этом получаются соответственно двух-, трех- и пятипроцентные растворы алюмината натрия [2].

Песок, применяемый при торкретировании, должен отвечать требованиям ГОСТ 2781 «Песок природный для обычного бетона. Технические условия» (крупность зерен не свыше 4 *мм*, влажность не должна превышать 5%).

Перед производством работ по торкретированию поверхность, подлежащая изоляции, должна быть соответствующим образом подготовлена. Она должна быть чистой и шероховатой, что достигается насечкой при помощи отбойных молотков со специальными наконечниками, а также очисткой стальными щетками либо песком при помощи цемент-пушки или пескоструйного аппарата. Если через обделку сооружения просачивается вода (трещины, каверны), то ее необходимо отвести через трубки, заложив последние в фильтрующих местах. Трубки закладываются в кладку на пакле и поверхность

вокруг них тщательно торкретируется. После окончания работ трубки заглушиваются, а концы их покрываются слоем торкрета толщиной не менее 1 *см*.

Торкретирование производится последовательно слоями, количество которых назначается в зависимости от общей толщины покрытия:

	Количество слоев
При толщине торкретного покрытия до 15 *мм* . . .	1
» » » » 16—20 » . .	2
» » » » 21—40 » . . .	3
При толщине железоторкретного покрытия до 60 *мм*	3
» » » » » 100 » .	4

Общая толщина торкретного покрытия устанавливается проектом. Минимальная толщина торкретной штукатурки, как правило, составляет 1,5 см, а при применении ВБЦ — 2,0 см.

Проверка толщины наносимого слоя торкрета производится стальной иглой.

Торкрет, наносимый на большие площади, обычно закрепляется металлической сеткой из прутков диаметром 3—5 *мм* с ячейками 10 × 10 *см*. Сетка прикрепляется к обделке при помощи штырей и костылей. Штыри устанавливаются в количестве не менее 5 шт. на 1 *м*². Площадь сечения всей арматуры должна составлять не более 1,5—2% площади сечения слоя торкрета. При торкретировании по металлической сетке первый слой должен покрывать сетку. Следующий слой торкрета наносят только после схватывания цемента в предыдущем слое. Минимальная толщина армированного торкретного покрытия — 40 *мм*.

Штукатурки, нанесенные торкретным способом, обладают значительно большей прочностью и плотностью, чем штукатурки, изготовленные ручным способом (прочность на сжатие выше в 2—2,5 раза, на растяжение на 30—60% и т. д.).

Торкрет имеет хорошее сцепление с арматурой и материалами. Сцепление торкрета с арматурой при составе 1 : 4 в среднем равно 15 *кг/см*², с каменными материалами — 24—36 *кг/см*².

По результатам испытаний фирмы «Вестингауз» [24] сцепление торкрета с различными материалами составляет (в *кг/см*²): с кирпичом 24—29, с песчаником — 36, с гранитом — 29, с железом, покрытым ржавчиной,— 28, с очищенным железом — 29.

Основное свойство торкрета — значительная водонепроницаемость. Принято считать, что торкрет при давлении воды в 5 *ати* является водонепроницаемым. Эти данные подтверждаются проведенными исследованиями. По данным Волховстроя [42] испытание торкрета состава 1 : 2,5 и 1 : 3 под давлением воды в 6 *ати* подтвердило его водонепроницаемость.

Многочисленные и обширные исследования, проведенные в области гидроизоляции гидротехнических тоннелей, также показали высокую водонепроницаемость торкретных штукатурок. Торкретные

штукатурки на ВБЦ, согласно инструкции И—146-50 МСПТИ, должны быть водонепроницаемыми при давлении 5 *ати*.

Нормы расхода материалов, оборудования, затрат труда и стоимость работ по устройству торкретной изоляции по территориальным районам СССР (приложение 1) приведены в приложениях 2 и 3.

Положительными свойствами штукатурки типа торкрет являются:

— хорошее сцепление с изолируемой поверхностью;

— достаточная механическая прочность;

— значительная водонепроницаемость;

— возможность полной механизации процесса производства работ.

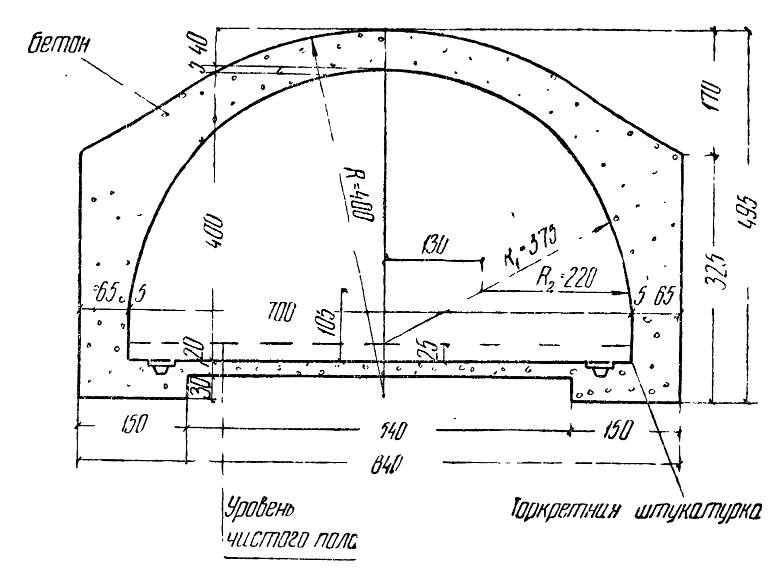


Рис. 25. Поперечное сечение подземного сооружения, гидроизоляция которого выполнена из торкретной штукатурки

К числу отрицательных свойств торкретной гидроизоляции относятся:

— возможность появления трещин в результате деформации;

— ненадежность изоляции поверхностей потолков ввиду трудности нанесения на них торкретного слоя;

— возможность производства работ только при наличии квалифицированной рабочей силы.

Торкретная гидроизоляция нашла широкое применение как в долговременном фортификационном, так и в гражданском подземном строительстве (особенно в строительстве гидротехнических тоннелей).

На рис. 25 показано поперечное сечение одного из долговременных фортификационных подземных сооружений, гидроизоляция которого выполнена из торкретной штукатурки.

Основные объемы работ по этому сооружению с площадью поперечного сечения по внутренней поверхности 21,05 $м^2$ следующие:

	Объем на 1 *пог. м*, $м^3$
Вынуто породы	36,05
Торкрета	0,60
Бетонной обделки	14,4

В качестве уплотняющих добавок при устройстве жесткой изоляции типа штукатурок применяются различные добавки, придающие раствору большую пластичность и меньшую водонепроницаемость.

В связи с тем, что жесткая гидроизоляция типа штукатурок с уплотняющими добавками не может быть рекомендована для гидроизоляции ответственных долговременных сооружений, находящихся в неблагоприятных гидрогеологических условиях (по большинству этих добавок должны быть проведены дальнейшие научно-исследовательские и опытные работы по изучению коллоидно-химической природы добавок и эффективности их действия), нами подробно вопрос о добавках не рассматривается.

Ниже приводятся характеристики отдельных наиболее распространенных добавок, которые применяются при устройстве жесткой изоляции типа штукатурок.

Церезит является соединением солей олеинокислого кальция, олеинокислого алюминия, сернокислого кальция и гидроокиси кальция. По внешнему виду церезит представляет собой сметанообразную жидкость белого цвета с желтоватым оттенком. Жидкость состоит из 70% воды и 30% твердого вещества, не растворимого и не смачиваемого водой.

Более точный состав церезита, по данным ленинградского церезитового завода, следующий (%):

Известь	20
Олеиновая кислота	7,8
Аммиак	0,5
Охра сухая	0,2
Сернокислый глинозем	5
Вода	66,5

На строительство церезит поступает в деревянных бочках емкостью 150—200 *кг* или в металлических банках по 10—20 *кг*.

Расход церезита на 1 $м^2$ поверхности (при составе церезитового молока по объему 1 : 10) примерно следующий:

Толщина покрытия, *см*	Расход, *кг*
2	0,5
3	0,75
4	1,00

Из других аналогичных добавок, кроме алюмината натрия, о котором упоминалось выше, следует отметить добавку под названием «акважел», подробно изученную в лаборатории НИС Метростроя, и патентованный водонепроницаемый состав под названием «аквелла».

«Акважел» представляет собой тонкодисперсную бентонитовую глину пластичной структуры. «Акважел» был с успехом применен на строительстве московского метрополитена (строительство станции «Автозаводская» и т. д.).

«Аквелла» — белый порошок, состоящий из 43% окиси кремния, 3% окиси кальция, 7,3% окиси алюминия, небольшого количества добавок магния, сернистого ангидрида и окиси железа.

Помимо свойства придавать материалам водонепроницаемость «аквелла» обеспечивает получение гладкой поверхности, пригодной для нанесения на нее отделочных растворов. «Аквелла» был применен в широких масштабах при строительстве «линии Мажино» для гидроизоляции подземных сооружений (склады материалов и другие сооружения).

Порядок устройства жесткой гидроизоляции типа штукатурок с уплотняющими добавками несколько отличается от работ по созданию изоляции штукатурок типа торкрет. Последовательность работ по созданию такой изоляции можно проиллюстрировать на примере устройства жесткой гидроизоляции с применением в качестве уплотняющей добавки церезита. Сначала приготовляется сухая смесь из цемента и песка (состава 1 : 2 или 1 : 3) и тщательно перемешивается до тех пор, пока при легком разглаживании поверхность смеси приобретает однородный вид без прожилок песка или цемента. Одновременно размешивают церезит в чистой воде (1 часть церезита на 10 частей воды по объему) и на этом церезитовом молоке затворяют сухую смесь до получения влажности, необходимой для штукатурных растворов.

Во избежание схватывания готовый штукатурный раствор должен быть употреблен в дело в течение 30 мин. Нельзя допускать повторного прибавления к раствору воды или церезитового молока. Укладка раствора ведется вручную такими же приемами, как и при штукатурных работах. Уложенный слой штукатурки затирается чистым цементным раствором на церезитовом молоке. Толщина слоя штукатурки должна быть 2 *см,* а при больших давлениях — 3—4 *см.*

Добавка церезита несколько повышает водонепроницаемость штукатурки. Однако следует помнить, что даже при самых благоприятных условиях штукатурка с уплотняющими добавками является относительно водонепроницаемой даже при небольших давлениях грунтовых вод.

Как и торкретные оболочки на обычных цементах, так и штукатурки с уплотняющими добавками могут подвергаться деформациям, связанным с усадочными явлениями и с деформациями самого сооружения.

Оболочки, выполняемые торкретным способом, обладают преимуществом в смысле водонепроницаемости перед штукатурками с уплот-

няющими добавками. Оба эти вида изоляции могут быть эффективными лишь в том случае, если отсутствует приток воды к изоляционному слою в процессе его нанесения и твердения.

При значительных температурных или осадочных деформациях необходимо предусматривать как в конструкциях, так и в жестком покрытии швы с компенсационными изоляционными устройствами.

Жесткая гидроизоляция может быть рекомендована:

— с неармированным торкретным покрытием на ВБЦ при воздействии на сооружение напорных подземных вод до 2 *ати*;

— с армированным и заанкеренным в обделку торкретным покрытием на ВБЦ при воздействии на сооружение напорных подземных вод до 3 *ати;*

— с неармированным покрытием из штукатурок с уплотняющими добавками в сочетании с дренажными устройствами при обводнении сооружений ненапорными поверхностными и атмосферными водами;

— с армированным покрытием на обычных цементах с уплотняющими добавками при воздействии на сооружение подземных вод небольшого напора (до 1 *ати*).

б. Оклеечная гидроизоляция

Оклеечная гидроизоляция представляет собой слой пластичной водонепроницаемой массы, армированной несколькими слоями гидроизоляционного материала.

Основное требование, предъявляемое к оклеечной изоляции, заключается в том, что изоляция должна быть плотно зажата между двумя ровными поверхностями, т. е. между обделкой сооружения и специально устраиваемым защитным слоем. В сооружениях, возводимых закрытым способом работ, таким защитным слоем является железобетонная рубашка.

Толщина железобетонной рубашки, определяемая расчетом, должна полностью воспринимать гидростатическое давление воды.

Железобетонная рубашка выполняется в основном из бетона марки «200»—«300» на портландцементе, минимальная толщина ее — 12 *см.*

Количество слоев оклеечной изоляции зависит как от величины гидростатического давления, так и от качества материалов. Технические условия Минтрансстроя СССР [1] предусматривают четырехслойную и трехслойную оклеечную изоляцию.

Трехслойное покрытие из гидроизола назначается при возможном его растяжении до 10 *мм* и одновременном воздействии гидростатического давления до 3 *ати,* а четырехслойное — при гидростатическом давлении до 4 *ати.*

В качестве армирующих материалов при устройстве оклеечной изоляции применяются рулонные изоляционные материалы, обработанные нефтяными битумами. Рулонные материалы могут изготовляться на следующих различных по своему характеру и составу основах:

[1] «Технические условия производства работ по гидроизоляции тоннелей». Часть I. ТУ—Т9-55, Минтрансстрой.

— картон (пергамин, руберойд, гидроизол, толь-кожа);
— ткань (метроизол);
— металл (металлоизол);
— смешанная основа (многослойные материалы из картона и свинцовой фольги, картона и металлической сетки и т. д.).

Трудность, а иногда и невозможность ремонта оклеечной гидроизоляции в возведенном сооружении ставит вопрос о применении в этих целях долговечных, проверенных многолетней практикой, изоляционных материалов.

Основными требованиями, предъявляемыми к рулонным материалам при устройстве оклеечной изоляции, являются:
— долговечность;
— минимальная водонасыщенность;
— прочность;
— эластичность и способность к растяжению (без разрыва),
— минимальный вес материала.

Перечисленным выше требованиям из числа рулонных гидроизоляционных материалов в большей мере отвечают гидроизол и металлоизол, которые и нашли широкое применение при устройстве оклеечной гидроизоляции в подземных сооружениях.

Гидроизол представляет собой беспокровный гидроизоляционный материал, изготовленный путем пропитки асбестовой бумаги нефтяными окисленными битумами. Гидроизол выпускается в рулонах двух марок Ги-1 и Ги-2, ширина полотна 950 ± 5 *мм* и длина $20 \pm 0,4$ *м*. Общая площадь рулона около 19 *м*^{2}. Поверхность гидроизола должна быть матовой, гладкой, без бугорков. В разрезе гидроизол должен быть черным или черным с коричневым оттенком, без светлых прослоек непропитанной бумаги и без посторонних включений.

Гидроизол должен отвечать следующим техническим условиям:

	Ги-1		Ги-2
Температура размягчения пропиточной массы по методу «кольцо и шар», °С, в пределах		50—60	
Отношение веса пропиточной массы к весу абсолютно сухой бумаги, не менее	0,60 : 1		0,55:1
Разрывной груз при растяжении полоски шириной 50 *мм*, в *кг*, не менее		30	
Водонепроницаемость под давлением столба воды высотой 5 *см*, в сутках, не менее	30		20
Гибкость при температуре $18 \mp 2°$, определяемая числом двойных перегибов при изгибании образцов на 180° до появления сквозной трещины, не менее		10	
Водонасыщение через 24 часа, в % по весу, не более	10		13
Потеря прочности водонасыщенных образцов, в %, не более	25		32
Расслаиваемость гидроизола в водонасыщенном состоянии по площади расслоения, *см*^{2}, не более	10		15

Металлоизол изготовляется путем покрытия металлической основы (алюминиевой фольги) с обеих сторон тугоплавким пластичным слоем битумной массы. Состав покровной массы 75% нефтяного строительного битума марки БН IV (ГОСТ 6617-53) и 25% асбеста 7-го сорта (по весу).

Металлоизол в зависимости от веса 1 $м^2$ основы изготовляется следующих марок:

Марки металлоизола	Вес 1 $м^2$ основы, г	Вес 1 $м^2$ материала, г
МА-550	550	3500∓5%
МА-270	270	3300∓5%

К металлоизолу предъявляются следующие требования

	МА-550	МА-270
Толщина, *мм*, не менее	2,5	2,5
Количество покровного слоя, $г/м^2$, не менее	3000	3000
Количество наполнителя в покровном слое, $г/м^2$	750	750
Отношение общего веса битумной массы к весу основы, не менее	5	10
Температура размягчения покровной массы по методу «кольцо и шар», °С, не менее	95	25
Пенетрация (глубина проникания) покровной массы:		
100 *г*, *5 сек* при 25°, не менее	20	20
100 *г*, 60 *сек* при 25°, не менее	30	30
Сопротивление разрыву покровной массы при 20°, $кг/см^2$, не менее	15	15
Удлинение при разрыве восьмерки, *мм*, не менее	18	18
Испытание на гибкость при температуре +18 ÷ + 20°:		
при изгибании по полуокружности стержня d = 18—20 *мм*	Выдерживает	
при изгибании под углом 180°	»	

Приклеивающая мастика (клебемасса), применяемая для наклейки рулонных гидроизоляционных материалов при устройстве оклеечной гидроизоляции, является по существу также изолирующим слоем, поэтому выбор материала для ее изготовления имеет весьма важное значение. Практикой и исследованиями ряда советских специалистов (Э. З. Юдович и др.) доказано, что лучшими с этой точки зрения являются нефтяные битумы.

Важнейшие свойства битумов: температура размягчения, растяжимость и твердость, о которой судят по глубине проникания иглы.

Температура размягчения имеет существенное значение при оценке пригодности битума в тех или иных условиях. Битумы с низкой температурой размягчения (марки БН-0 и БН-1) могут применяться для изоляционных целей в условиях низких температур среды; при высоких же температурах среды изоляционный слой, уложенный на таких битумах, может легко сползать под влиянием собственного

веса. В этих условиях применяются битумы с повышенной температурой размягчения.

Растяжимость — свойство битума при определенной температуре растягиваться. Величина растяжимости характеризует способность изоляционного слоя растягиваться (без разрыва) при деформации.

Твердость является также показателем пластичности битумов. Наиболее пластичными являются битумы марки БН-0, БН-1, БН-11, БН-11-У.

Наиболее подходящим, с учетом температурных и других условий возведения подземных сооружений, для изготовления клебемассы является битум марки БН-111. В специфических условиях возведения и эксплуатации подземного сооружения, т. е. в условиях низких или высоких температур среды, могут применяться битумы других марок или их смеси.

Клебемасса, применяемая для устройства оклеечной гидроизоляции в подземных сооружениях, эксплуатируемых при температуре от +5 до +15° С, должна иметь следующие показатели:

— глубину проникания — не менее 30 сотых долей сантиметра;

— растяжимость — не менее 30 *см;*

— температуру размягчения по методу «кольцо и шар» — 50° С;

— температуру вспышки — не менее 280° С;

— растворимость в хлороформе — не менее 99%.

Приготовление клебемассы производится в котлах с огневым подогревом или в установках, обогреваемых при помощи электричества. Для варки клебемассы могут быть использованы как передвижные, так и стационарные установки.

Установку с огневым подогревом при большом объеме изоляционных работ рекомендуется устраивать из двух котлов или с числом котлов, кратным двум. При небольшом объеме работ применяется однокотельная установка. Котлы и помещения, в которых производится варка клебемассы, должны отвечать определенным требованиям (противопожарным и др.).

На рис. 26 показан поперечный разрез типовой двухкотельной установки для варки битума. Котлы располагают на расстоянии 1 *м* один от другого и соединяют между собой поверху металлическим желобом, причем один из котлов помещается выше другого на 20 *см.*

В верхний котел через загрузочное отверстие загружается битум не более чем на 0,75 его объема, и котел обогревается. Во время обогрева котла и до полного расплавления битума последний постоянно перемешивают, чем устраняется пригорание битума к днищу и стенкам котла. Как только битум расплавился, ему дают отстояться (для осаждения из него посторонних примесей) и затем переливают его по соединительному желобу в нижний котел, обогретый к этому моменту.

Нижний котел заполняется расплавленным битумом не более чем на 0,75 его объема; битум в нем в процессе дальнейшей варки не перемешивается. Варка клебемассы заканчивается в нижнем котле че-

рез 1 час после исчезновения пены на ее поверхности и при нагреве расплавленного битума до 175° (не выше +190° С). С этого момента клебемасса считается готовой, а обогрев котла производится для поддержания температуры в 175°. Загрузка в верхний котел производится по мере переливания из него расплавленного битума в нижний. Транспортирование готовой клебемассы к месту работ, после проведения полевой лабораторией соответствующих анализов, производится в плотных металлических, теплоизоляционных сосудах (закрытые бидоны, электротермосы, рудничные вагонетки, приспособленные для этих целей, и т. п.).

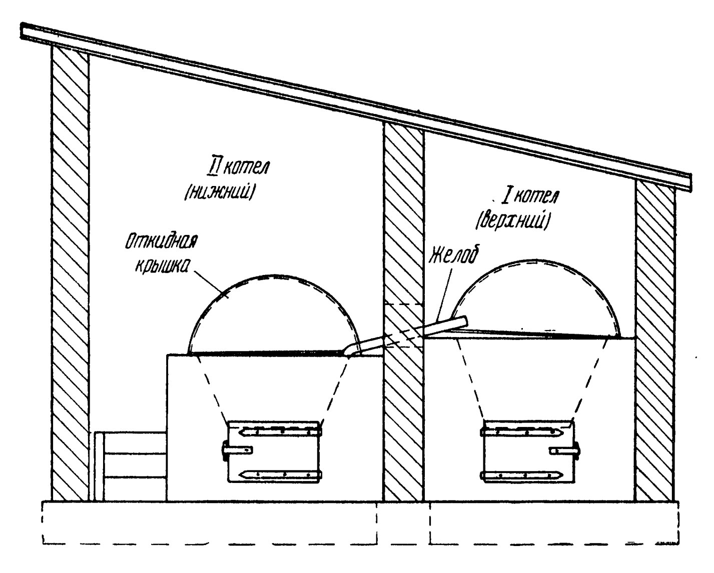


Рис. 26. Поперечный разрез типовой двухкотельной битумоварочной установки

Поверхность, на которую укладывают изоляцию, предварительно выравнивают, срубая все неровности (бугры, наплывы и т. п.). Затем поверхность оштукатуривают цементным раствором 1 : 3. Достаточно ровные поверхности не оштукатуривают, но все раковины, швы и прочие дефекты затирают цементным раствором заподлицо с поверхностью. Просветы между подготовленной к изоляции поверхностью и контрольной рейкой длиной 1,75 *м*, прикладываемой к этой поверхности, не должны превышать 3 *мм*.

Внутренние углы в местах сопряжения поверхностей должны быть заполнены цементным раствором или битумной мастикой с наполнителями и плавно закруглены в виде выкружки по дуге радиусом 10—15 *см*.

Осушение изолируемой поверхности, как правило, осуществляется путем тщательного нагнетания раствора за обделку.

В тех случаях, когда грунтовые воды просачиваются через обделку сооружения, их следует отводить при помощи дренажа. Если дренаж не дает ожидаемого результата или засоряется и вода продолжает просачиваться сквозь изолируемую поверхность, то изолируемую поверхность оштукатуривают цементным раствором состава 1 : 2, смешанным с одной из следующих добавок: жидким стеклом в количестве 10—20% от веса цемента, глиноземистым цементом в количестве 10—15% от общего веса смеси, алюминатом натрия в количестве 2—3% от веса воды для затворения раствора. Изолируемые поверхности могут также оштукатуриваться раствором состава 1 : 2 на водонепроницаемом безусадочном цементе (ВБЦ). Особое внимание следует обращать на то, чтобы оштукатуренные поверхности окрепли и просохли. Ускорить их просыхание можно искусственно при помощи усиленной вентиляции, обдувания сжатым воздухом или горячим воздухом специальных сушильных или паяльных ламп.

Практика изоляционных работ показала, что наиболее удобно и технически правильно укладывать изоляцию, начиная от самых пониженных точек сооружения к самым верхним. Первый слой изоляции укладывают следующим образом. Изолируемую поверхность и нижнюю сторону укладываемого материала тщательно промазывают клебемассой. Толщина слоя промазки 1—1,5 *мм* (не должна превышать 3 *мм*). За один прием промазывают площадь не более 0,5 $м^2$. Часть полотна, промазанную клебемассой, прижимают к изолируемой поверхности и уплотняют шпателем или электрокатком. Остальные полотнища как в первом, так и в последующих слоях укладываются аналогичными приемами.

В практике широкое распространение получил способ наклеивания изоляции путем так называемой подливки. Сущность его заключается в том, что горячая клебемасса из небольшой кружки подливается постепенно, по мере раскатки свернутого в рулон полотнища, в зазор между изолируемой поверхностью и нижней поверхностью рулона.

Особое внимание следует уделять соединению полотнищ между собой и выполнению перекрытия стыков в слоях, что обеспечивает герметичность изоляции.

Полотнища по ширине соединяются между собой внахлестку на 10 *см* (рис. 27). Швы в этих местах тщательно промазываются горячей клебемассой и уплотняются. Такая схема стыкования оправдала себя на практике и рекомендуется техническими условиями Метростроя. Технические условия, принятые в США, предусматривают также аналогичный способ соединения полотнищ изоляции и расположения стыков, допуская при этом нахлестку не 10, а 5 *см*.

Соединение полотнищ по длине производится в основном по схеме, указанной на рис. 28 (кроме сводовой части сооружения, в которой стыки полотнищ выполняют по другой схеме — рис. 29).

Изоляционные работы при укладке внутренней оклеечной изоляции ведутся в следующем порядке.

Предназначенный к укладке участок начерно готового сооружения освобождают от строительных материалов и мусора. Поверхность, подлежащую изоляции, соответствующим образом подготовляют (поскольку изоляция укладывается на сухую, отвердевшую и ровную поверхность. В первую очередь мембрану укладывают на нижнюю часть сооружения (лоток) до высоты горизонтального радиуса (рис. 30). Рулоны раскатывают от оси тоннеля по направлению к стенкам, укладывают их вначале сухими, тщательно выверяют, а затем наклеивают их послойно с соблюдением общих правил

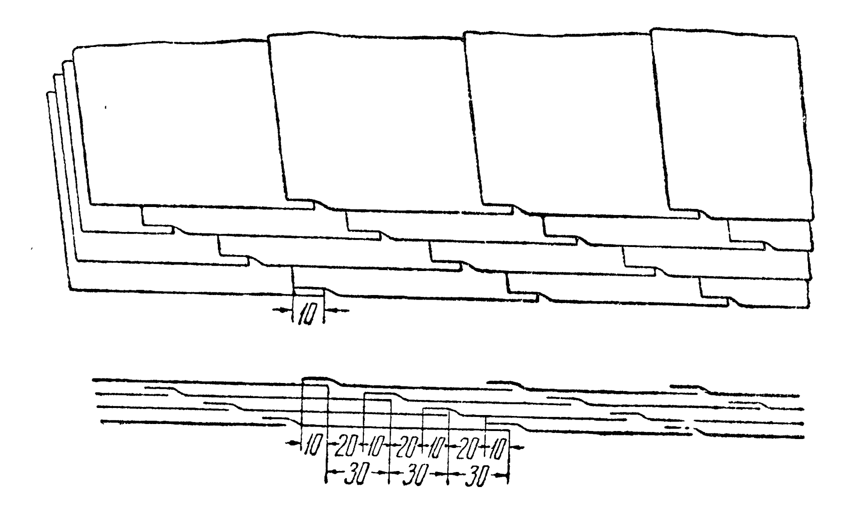


Рис. 27. Схема расположения стыков в слоях покрытия по ширине полотнищ

укладки изоляции. Уложенная мембрана покрывается слоем горячей клебемассы толщиной 2—3 *мм*, на которую затем укладывается стяжка из цементного раствора состава 1 : 3 или 1 : 2. У горизонтального диаметра концы мембраны стяжкой не покрывают и оставляют свободными для дальнейшего наращивания (рис. 31). От загрязнения эти концы предохраняются защитными фартуками. По стяжке поперек тоннеля укладываются деревянные брусья или бревна, на которые устанавливается опалубка для железобетонной рубашки. Арматура железобетонного кольца укладывается так, чтобы концы мембраны, оставленные для наращивания, были свободны от арматуры. После укладки арматуры и установки опалубки производится бетонирование рубашки. Бетон укладывается ниже концов арматуры для дальнейшего наращивания.

Следующая фаза работ включает в себя укладку мембраны вверх по контуру тоннеля на длину не менее $^1/_6$ части его периметра (рис. 32). Мембрана укладывается снизу вверх по общим правилам. Особое внимание следует уделять соединению ее с концами мембра-

ны нижней части тоннеля. Укладка мембраны ведется с подмостей, устроенных на креплениях опалубки. Уложить стяжку поверх мембраны в этой части тоннеля не представляется возможным, поэтому

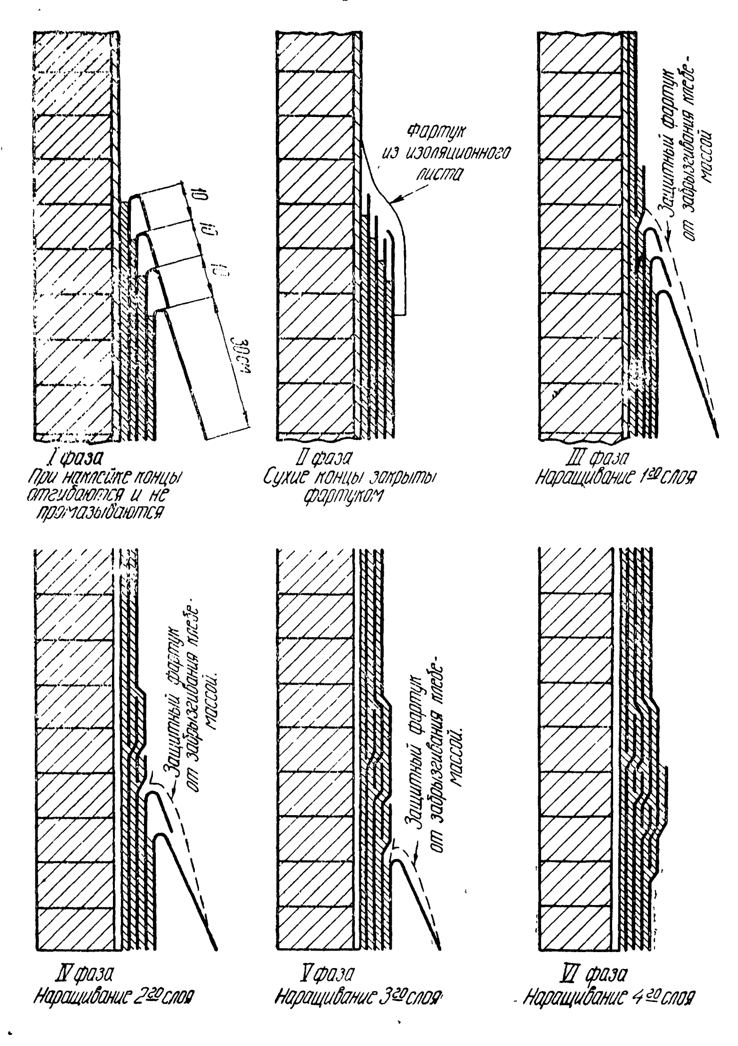


Рис. 28. Схема расположения стыков в покрытии вдоль полотнищ

вместо стяжки под стержни арматуры подкладывают или шашки из цементного раствора или железобетонные рейки, благодаря чему исключается возможность повреждения мембраны. Арматура железобетонной рубашки также не доводится до концов мембраны, оставленных для дальнейшего наращивания. После устройства опалубки

производится бетонирование, причем бетон располагается ниже концов арматуры.

В последнюю очередь мембрану укладывают в верхней части сооружения — в своде. При укладке концы мембраны соединяются в

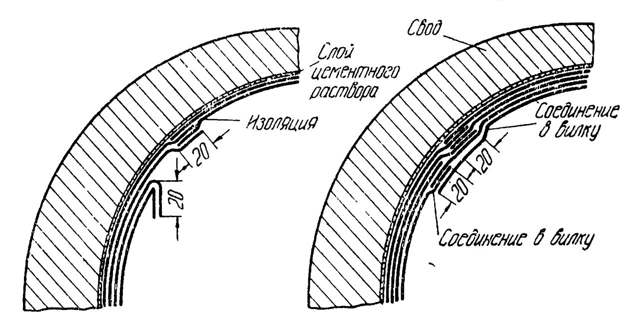


Рис. 29. Схема расположения стыков в полотнищах в своде тоннеля

двойную вилку с нахлесткой на 20 *см* с концами ранее уложенной мембраны (рис. 33). Особое внимание следует уделять тщательности

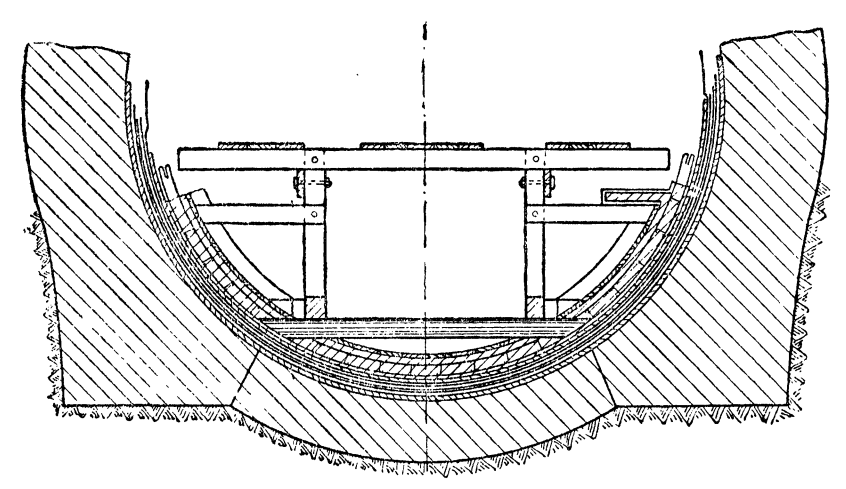


Рис. 30. Схема устройства оклеечной гидроизоляции в нижней части тоннеля

укладки бетона в замке свода, так как в этом месте может произойти усадка бетона, отставание его от изоляции, что в дальнейшем приведет к раскрытию стыков в мембране и к течи. Поэтому целесообразно в замковую часть рубашки нагнетать цементный раствор под небольшим давлением через специально оставленное в бетоне отверстие (рис. 34). Для этой цели при бетонировании замка рубашки устанавливают бетонные камни с отверстиями.

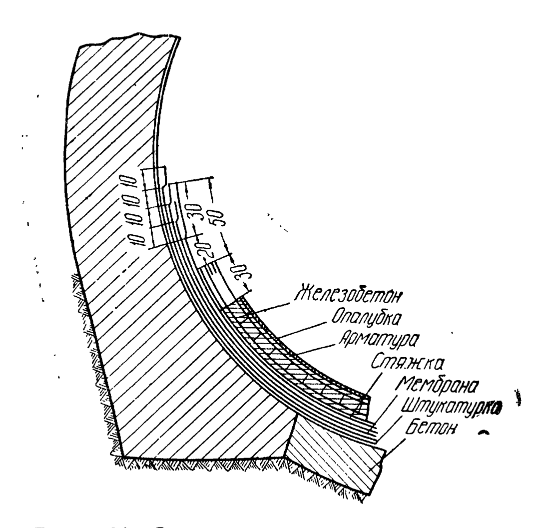


Рис. 31. Схема расположения концов покрытия, стяжки, арматуры и бетона при устройстве оклеечной гидроизоляции в нижней части тоннеля

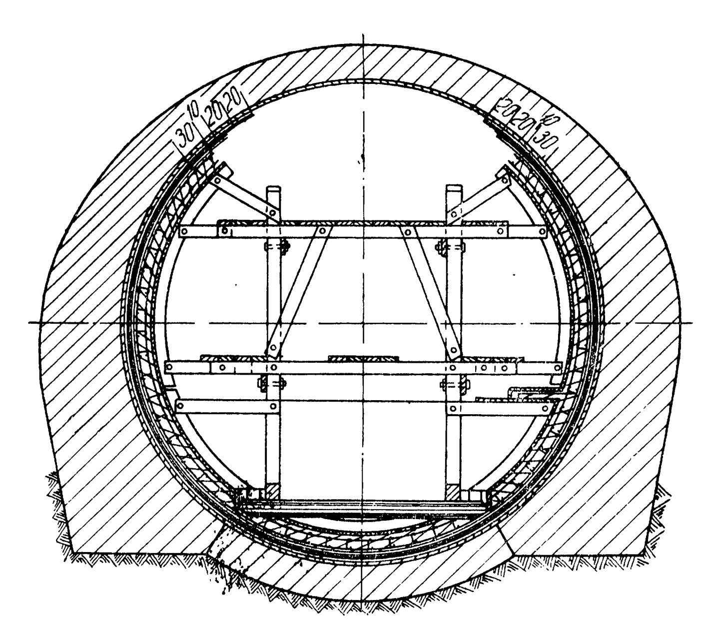


Рис. 32. Схема устройства оклеечной гидроизоляции в стенках тоннеля

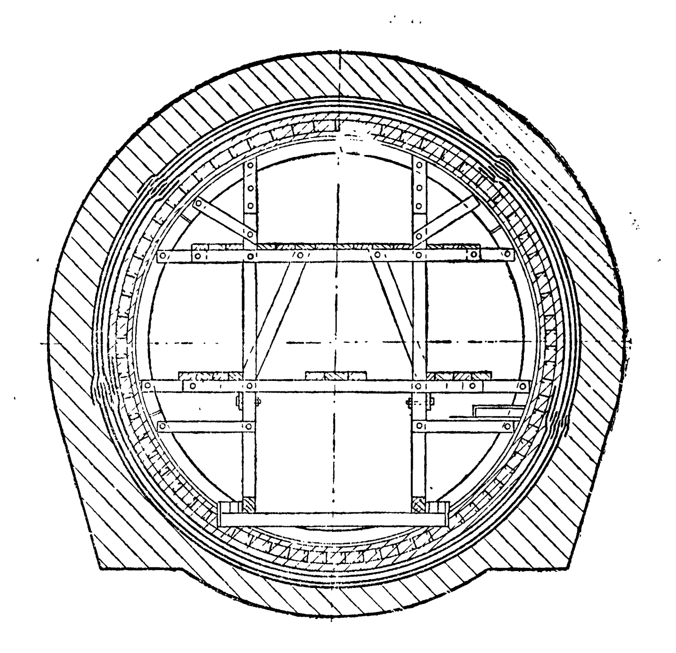


Рис. 33. Схема устройства оклеечной гидроизоляции в сводовой части тоннеля

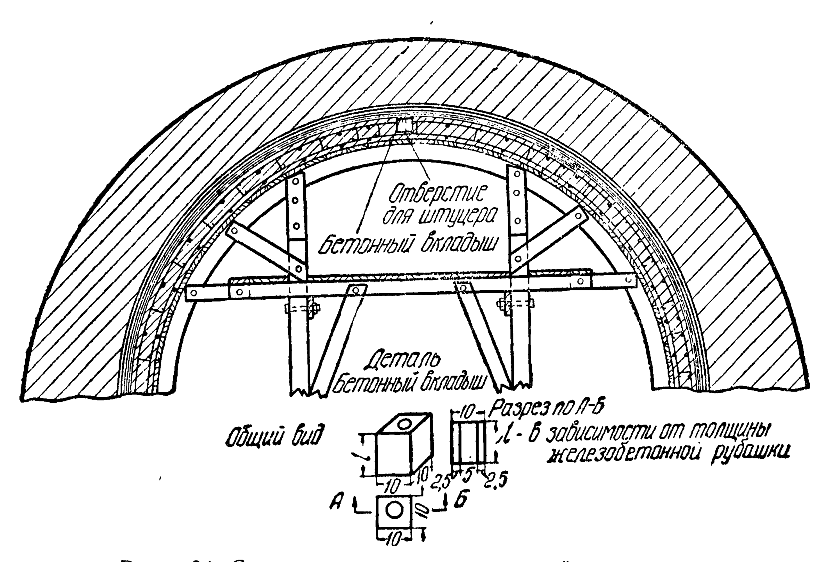


Рис. 34. Схема расположения отверстий для нагнетания

Ремонт оклеечной гидроизоляции может быть осуществлен при помощи нагнетания горячего битума в пространство между изоляцией и железнодорожной рубашкой. При проведении ремонтных работ необходимо руководствоваться соответствующими техническими условиями[1].

Нормы затрат труда и оборудования, расхода материалов и стоимость работ по устройству оклеечной гидроизоляции по территориальным районам СССР приведены в приложениях 4, 5 и 6.

Основным достоинством оклеечной гидроизоляции является ее способность следовать за деформациями сооружений, не теряя свойств водонепроницаемости. При правильном выполнении работ оклеечная гидроизоляция является эффективным средством защиты подземных сооружений от проникания в них воды.

Основными недостатками оклеечной гидроизоляции являются:

— трудность, а иногда и невозможность ее ремонта (особенно, если она выполнена с наружной стороны);

— большая трудоемкость (процесс устройства ее до сего времени не механизирован) и высокая ее стоимость;

— возможность выполнения работ по ее устройству только при наличии высококвалифицированной рабочей силы;

— необходимость в дополнительных затратах, связанных с устройством защитной железобетонной рубашки (кроме затрат на устройство самой железобетонной рубашки, минимальная толщина которой 12 *см*, должны быть произведены дополнительные затраты, связанные с разработкой грунта для получения необходимого сечения сооружения в свету).

Однако, несмотря на эти недостатки, оклеечная гидроизоляция, благодаря своей высокой способности обеспечивать защиту подземных сооружений от проникания в них подземных вод, нашла самое широкое применение в практике подземного фортификационного и гражданского строительства.

Оклеечная гидроизоляция применяется в подземных сооружениях, имеющих монолитную или сборную неметаллическую обделку. Следует отметить, что устройство оклеечной гидроизоляции в подземных сооружениях, имеющих сборную (неметаллическую) обделку и находящихся в неблагоприятных гидрогеологических условиях, во многих случаях оказывается малоэффективным и приводит к удорожанию стоимости работ.

Примером устройства оклеечной гидроизоляции в народном хозяйстве является гидроизоляция напорного тоннеля одной из гидроэлектростанций СССР. В этом тоннеле, имеющем диаметр в свету 2,3 *м* и наибольший напор 32,5 *м*, выполнена оклеечная гидроизоляция, которая состояла из четырех слоев пергамина марки П-350. Со-

---

[1] «Технические условия на ремонт тоннелей Московского метрополитена». Трансжелдориздат, 1955.

став битумной приклеивающей массы: 70% битума марки БН-111 и 30% битума марки БН-V.

Подготовка основания и способ наклейки пергамина были обычными. После укладки всех слоев пергамина на поверхность последнего слоя наносился покровный слой толщиной до 3,5 *мм*. По покровному слою устанавливались ленточные кольца из арматуры $d=16$ *мм* с шагом через 35 *см* (рис. 35). К монтажным кольцам крепилась изготовленная вне тоннеля металлическая сетка из катанки $d=6$ *мм* с ячейками 8×8 *см*, которая в дальнейшем покрывалась слоем торкрета толщиной 4 *см*. Всего было уложено около 3000 $м^2$ четырехслойной гибкой мембраны.

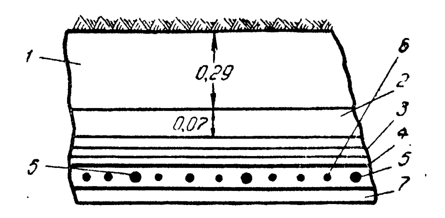


Рис. 35. Схема гидроизоляции напорного тоннеля гидроэлектростанции: *1* — бетонная обделка; *2* — железоторкретный слой; *3* — гибкая мембрана; *4* — покровный слой; *5* — монтажные кольца из арматуры $d=16$ *мм*, устанавливаемые через 35 *см*; *6* — металлическая сетка из катанки $d=6$ *мм*; *7* — защитный торкретный слой толщиной 4 *см* по металлической сетке

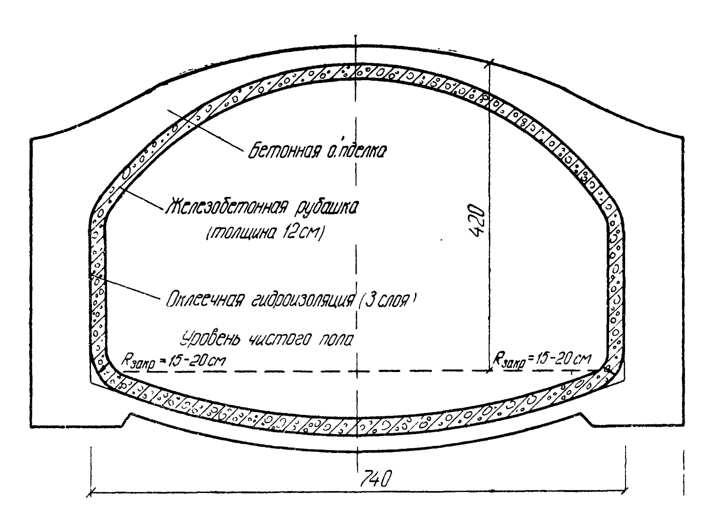
Обделка и гидроизоляция подвергались испытанию на водонепроницаемость и показали удовлетворительные результаты. В табл. 9 приведены сравнительные показатели фильтрационного расхода через обделку вышеуказанного тоннеля и тоннелей других электростанций, построенных в СССР и за рубежом [23].

Таблица 9

Сравнительные данные удельного расхода воды через обделку различных тоннелей

Наименование тоннелей	Род изоляции	Удельный фильтрационный расход, *л/сек*
Напорный тоннель Дзорагэс	железо-торкрет	0,840
Напорный тоннель Гизельдонгэс	железо-торкрет	0,035
Опытный штрек Храмгэс	торкрет	0,100
Штольня Амстэч (Швейцария):		
участок № 1 и 2	торкрет	0,060
участок № 6	железо-торкрет	0,170
Штольня Барберин (Швейцария)	торкрет	1,00
Участок рассматриваемого тоннеля	гибкая мембрана, покрытая торкретом по сетке	0,025

На рис. 36 показано поперечное сечение одного из долговременных подземных фортификационных сооружений, гидроизоляция которого выполнена в виде оклеечной изоляции. На 1 *пог. м* вышеука-



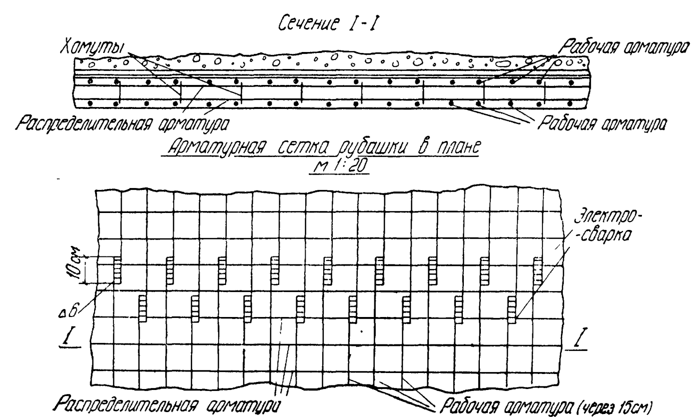


Рис. 36. Поперечное сечение долговременного подземного сооружения с оклеечной гидроизоляцией

занного сооружения потребность в материалах для гидроизоляции составляет:

	Количество
Расход гидроизола (мембрана из трех слоев), $м^2$ . .	63
Расход бетона и арматуры (при толщине железобетонной рубашки 12 *см* и диаметре арматуры 12 *мм*):	
бетона, $м^3$	2,52
арматуры, *кг*	250

Проведенными в последнее время исследованиями установлено, что более эффективными материалами при устройстве оклеечной гидроизоляции являются рулонные материалы на основе полихлорвиниловых смол — полипластикаты и винипластикаты.

Полипластикаты нашли широкое применение для гидроизоляции гидротехнических сооружений в Германской Демократической Республике.

Полипластикат, получаемый из порошка полихлорвинила и пластификатора (30—40%), выпускается в ГДР в виде рулонов различной длины с шириной полотна 1 *м* и толщиной от 0,15 до 2 *мм*. Стоимость 1 *кг* полипластиката 4 марки.

Для наклейки рулонов полипластиката к изолируемой поверхности применяются битумные мастики, а также клеевые растворы ПЦ-13, ПЦД-13. Количество слоев изоляции, как правило, 1—2.

Главное отличие в производстве работ при изоляции с применением полипластиката заключается в сварке листов этого материала в единую гидроизоляционную рубашку.

В ГДР разработан ряд способов сварки листов полипластиката, в том числе при помощи токов высокой частоты. Время сварки при использовании токов высокой частоты составляет на 1 *м* шва 2—4 *сек.*, стоимость — 4 марки.

В зависимости от содержания пластификатора [48] полипластикаты имеют следующие свойства:

	ТМ-30	ТМ-35	ТМ-40
Прочность на растяжение, *кг/см*²	218	195	153
Относительное удлинение при разрыве, %	294	344	358
Толщина, *мм*	2,1	2,2	2,0
Водонепроницаемость, *ати*	10	10	10

Эти свойства зависят от температуры и коэффициента размягчения (табл. 10).

Из числа рулонных материалов на основе полихлорвиниловых смол, выпускаемых в Советском Союзе, наиболее эффективным, как показали обширные экспериментальные исследования, проведенные Е. Кузьминым [27], является винипластикат.

Этот вид пластиката, выпускаемый в виде лент и полос различной ширины и длины при толщине 0,5 *мм*, согласно ВТУ ГХП 47-46, обладает следующими свойствами:

— стойкостью к действию кислот и щелочей низких и средних концентраций, а также ко многим органическим растворителям;

— температурой разложения не ниже 180°;

— пределом прочности при растяжении не менее 100 *кг/см*²;

— относительным удлинением при разрыве не менее 100%;

— водостойкостью и водонепроницаемостью.

Винипластикат сваривается без потери эластичности с образованием однородного материала.

Таблица 10

Зависимость свойств полипластикатов от температуры и коэффициента размягчения

Свойства пластикатов	Температура, °C	Коэффициент размягчения и степени твердости[1]		
		10/92	30/82	60/64
Модуль упругости, *кг/см²*	20	380	140	50
	60	70	40	25
	100	33	23	20
Упругая деформация, % от общей деформации	20	70	60	25
	60	32	31	31
	100	32	31	31
Остаточная деформация, % от общей деформации	20	7	7	5
	60	10	12	15
	100	15	18	28
Прочность на растяжение, *кг/см²*	40	130	110	80
	20	250	200	140
	0	420	360	290
	−20	700	580	500
Относительное удлинение при разрыве, %	40	350	380	450
	20	220	270	340
	0	70	140	220
	−20	10	30	110

[1] По Стандарту ГДР № 53503.

в. Специальная гидроизоляция

К специальной гидроизоляции относятся способы изоляции неплотностей в сборной обделке из тюбингов и блоков.

Гидроизоляция тюбинговых обделок осуществляется совокупностью следующих мероприятий:

— первичного, повторного и контрольного нагнетания за обделку;

— изоляцией болтовых отверстий и отверстий для нагнетания;

— изоляцией швов в стыках между тюбингами или блоками.

Гидроизоляция отверстий для нагнетания в тюбинговых обделках заключается в заполнении уплотненной асбобитумной мастикой пространства между заплечиками пробки и поверхностью тюбинга, а также зазоров в резьбовом соединении.

Для изоляции отверстий для нагнетания, имеющихся в каждом тюбинге, кроме замкового, наибольшее распространение получили уплотняющие шайбы (рис. 37), которые представляют собой изго-

товленные из асбобитумной мастики плоские кольцевые прокладки. Внутри шайбы заложено кольцо, сплетенное из асбестового шнура и пропитанное битумом. Кольцо имеет толщину 4±1 *мм*.

Для изоляции болтовых отверстий применяются асбобитумные сферические и свинцовые шайбы.

Изоляция болтовых отверстий заключается в заполнении зенковок и околоболтового зазора асбобитумной мастикой или свинцом, вдавливаемых в них со стороны головки и гайки болта при его затяжке. Асбобитумные сферические шайбы нашли более широкое применение, чем свинцовые. Последние применяются при гидроизоляции подземных сооружений, эксплуатируемых при высоких температурах (40—90° С) и в других особых случаях.

Рис. 37. Шайба для изоляции отверстий для нагнетания: *1* — асбобитумная шайба; *2* — асбестовый шнур

Асбобитумная сферическая шайба представляет собой металлическую шайбу, соединенную в одно целое с асбобитумной мастикой и битуминированным асбестовым кольцом. Эти шайбы устанавливаются непосредственно при монтаже тюбингового кольца рабочими проходческой бригады, осуществляющими монтаж обделки.

В зависимости от размеров болтовых отверстий, зенковок и болтовых скреплений тюбингов применяются различные марки сферических шайб: для перегонных тоннелей шайбы марки «П», для эскалаторных тоннелей марки «Э» и станционных тоннелей марки «С».

Асбобитумная мастика для различных марок сферических шайб имеет следующий состав (в %):

	Марки шайб		
	„Э“	„С“	„П“
Битум нефтяной БН-IV (ГОСТ 6617-53) .	58,5	70	70
Масло веретенное (ГОСТ 1642-50)	6,5	—	—
Асбест 7-го сорта	35,0	30	30

Асбобитумная мастика должна иметь ровную поверхность. В разрезе мастика не должна иметь светлых прослоек непропитанного асбеста, раковин, посторонних включений и комков асбеста. Асбобитумная мастика для шайб готовится путем смешения расплавленного битума с сухим просеянным асбестовым волокном и варки при температуре не ниже 140 и не выше 160° С.

Размеры сферических асбобитумных шайб, их физико-механические свойства должны отвечать соответствующим техническим условиям [10].

Свинцовые шайбы представляют собой изготовленные из свинца кольцевые прокладки с коническим выступом.

В качестве материалов для изоляции швов в стыках между тюбингами или блоками могут применяться различные замазки (цементная, металлическая, асбестоцементная), водонепроницаемый расширяющийся цемент и свинцовая проволока или освинцованный шнур. Цементная замазка изготовляется из портландцемента марки «300» и увлажняется 10—12% воды (от веса цемента). Асбестобитумная замазка изготовляется из смеси (по весу), состоящей из 70% портландцемента марки не ниже «300» и 30% асбеста 5-го или 6-го сорта. Смесь хорошо перемешивают и увлажняют 10—12% чистой воды (от веса смеси).

Кроме указанных выше замазок, в прошлом применялась и металлическая замазка, основными компонентами которой являются металлические опилки, нашатырь, сера и вода.

Однако следует отметить, что все вышеперечисленные замазки, применявшиеся в прошлом, не дали положительных результатов, так как они не могли обеспечить надежность соединения с металлической поверхностью канавок тюбингов, особенно при притоке в канавки воды. В связи с этим вышеуказанные замазки в настоящее время, как правило, не применяются. Для изоляции швов стыков тюбингов в настоящее время нашел широкое применение главным образом водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ) и свинцовая проволока или освинцованный шнур.

Изоляция стыков тюбинговой обделки свинцом, заключающаяся в зачеканке канавок свинцовой проволокой или освинцованным шнуром на 1/3 их высоты и в последующей зачеканке остальной части канавки ВРЦ, применяется в особых случаях.

ВРЦ является быстросхватывающимся и быстротвердеющим гидравлическим веществом, получаемым путем тщательного смешивания в определенной дозировке глиноземистого цемента (ГОСТ 969-41), высокопрочного гипса (ТУ—33-44 НКстрой и НК ПСП СССР) либо строительного гипса 1-го или 2-го сорта (ГОСТ 125-41) и молотого высокоосновного гидроалюмината кальция.

В составе высокоосновного гидроалюмината кальция весовое содержание глиноземистого цемента должно быть не менее 50%.

ВРЦ должен отвечать ТУ 66-50 МСПТИ «Временные технические условия на водонепроницаемый расширяющийся цемент» [1].

К устройству специальной изоляции приступают лишь после выполнения ряда работ, предшествующих изоляции и связанных с выполнением высококачественной обделки. Прежде чем приступить к гидроизоляции тюбингов необходимо проверить качество тюбингов и болтовых креплений, поступающих в монтаж, установить правильность монтажа тюбингов, проверить качество нагнетания за обделку сооружения, произвести очистку рабочего места для производства гидроизоляционных работ.

Изоляция отверстий для нагнетания осуществляется следующим образом. Сначала из отверстий для нагнетания извлекают установленные в них при нагнетании деревянные пробки, а само отвер-

стие тщательно очищают от цементного раствора. Поверхность вокруг отверстия также тщательно очищают и насухо вытирают концами, ветошью, тряпками. Очищенную и протертую поверхность покрывают тонким, толщиной до 1 *мм,* слоем битумного лака и оставляют для просушивания в течение не менее двух часов. Одновременно очищают и протирают металлическую пробку, которую после этого покрывают также битумным лаком. После высыхания пробку с надетой на нее асбобитумной шайбой устанавливают в отверстие и ввинчивают до отказа (рис. 38). Для завинчивания пробки применяются торцовые ключи различной формы для удобства работы в различных пунктах по периметру сооружения. Рекомендуется, чтобы пробки в виде комплекта (т. е. с надетой на пробку шайбой) доставлялись в соответствующей таре к месту работ.

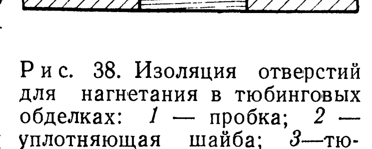


Рис. 38. Изоляция отверстий для нагнетания в тюбинговых обделках: *1* — пробка; *2* — уплотняющая шайба; *3*—тюбинг

Признаками удовлетворительного качества работ по гидроизоляции отверстий для нагнетания являются:

— наличие около заплечиков пробки выдавленной битумной мастики;

— отсутствие между заплечиками пробки и поверхностью тюбинга зазора более 1,5—2,0 *мм.*

— поворот пробки при контрольной затяжке не более чем на 45°;

— водонепроницаемость изолированных отверстий при гидравлическом испытании при 5 *ати* в течение 3 часов.

Изоляция отверстий для нагнетания в обделке из блоков осуществляется путем заделки их ВРЦ с уплотнением цемента в отверстиях чеканочными молотками (КР-41), снабженными обрезиненными наконечниками.

Устройство изоляции болтовых отверстий производится (при применении для этой цели сферических шайб) непосредственно при монтаже тюбинговой обделки. Зенковку и поверхность тюбинга тщательно очищают и покрывают битумным лаком. Окрашенный битумным лаком болт с надетой под его головку шайбой заводится в болтовое отверстие. Со стороны резьбы на болт надевается шайба, навинчивается от руки гайка, а затем производится затягивание болта механическим сбалчивателем или гаечным ключом до выпрямления металлической шайбы под гайкой. Полное выпрямление металлической шайбы со стороны головки болта производится лишь в процессе контрольной подтяжки болтов перед началом работ по гидроизоляции стыков обделки, благодаря чему происходит доуплотнение зазоров асбобитумной мастикой (рис. 39).

Окраска болтовых скреплений производится на заводе. Комплекты таких скреплений поступают к месту изоляционных работ в таре и их собирают таким образом, чтобы утолщенная шайба (окрашенная в красный цвет) помещалась под гайкой, а более тонкая (окрашенная в черный цвет) помещалась под головкой болта.

Изоляция швов тоннельной обделки с применением ВРЦ осуществляется не ближе чем в 25 *м* от участка работ по повторно-контрольному нагнетанию за обделку.

Изоляции швов тюбинговой обделки должны предшествовать работы по нагнетанию за обделку, изоляции болтовых отверстий и отверстий для нагнетания. Качественное выполнение этих работ создает более благоприятные условия для укладки ВРЦ и швы тюбинговой обделки. Канавки между тюбингами должны быть тщательно очищены при помощи пескоструйного аппарата до металлического блеска, а перед укладкой в них ВРЦ продукты сжатым воздухом. Для очистки канавок применяется сухой и чистый, без пыли, кварцевый песок с крупностью зерен от 1 до 3 *мм*.

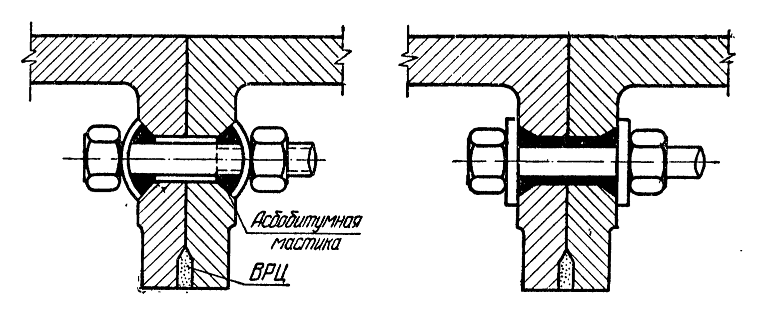


Рис. 39. Изоляция болтовых отверстий тюбингов при помощи сферических шайб

Укладку ВРЦ разрешается производить в канавки, соответствующие по глубине и ширине требованиям «Технических условий на изготовление чугунных тюбингов с обработанными бортами». Канавки шириной менее 5 *мм* и глубиной менее 20 *мм* доводятся до нужных размеров путем выработки чугуна.

ВРЦ при зачеканке сухих канавок применяется во влажном состоянии (с содержанием воды до 15—18% по весу), а при наличии воды в изолируемом шве для зачеканки применяется только сухой цемент.

При отсутствии притока воды через стыки обделки применяется ВРЦ с нормальными сроками схватывания (начало схватывания не ранее чем через 4 *мин*, а конец — не позднее чем через 10 *мин* от начала затворения), а при наличии притока подземных вод с более короткими сроками схватывания (начало не ранее чем через 2,5 *мин*, конец — не позднее чем через 5 *мин*).

ВРЦ укладывают послойно, участками длиной в 3—4 *пог. м*, вначале в продольные канавки и в места их сопряжения с кольцевыми, а затем в кольцевые. Каждый уложенный слой цемента уплотняют чеканочным молотком сразу же после его укладки и после уплотнения орошают водой. Толщина первого слоя после его уплотнения не должна превышать 15 *мм*, а последующих слоев — поло-

вины глубины заполненной части канавки. Послойное заполнение повторяется до тех пор, пока канавка не будет заполнена цементом до уровня борта тюбинга.

Работы по укладке ВРЦ и зачеканке его производятся сверху (со свода тоннеля) вниз. При отсутствии притока воды через стыки обделки допускается укладка и уплотнение ВРЦ снизу (от лотка) вверх, что уменьшает потери цемента.

Признаком хорошего уплотнения ВРЦ служит отсутствие глухого звука при чеканке.

Уплотнение ВРЦ производят при помощи чеканочных молотков и набора(5—6) различных чеканок, применяемых в зависимости от ширины канавки. Чеканочные молотки РК-41, РК-43 и КЕ-16 обеспечивают высокую прочность, плотность и водонепроницаемость швов и значительно повышают производительность труда.

Зачеканка канавок свинцовой проволокой или освинцованным шнуром производится в соответствии с техническими условиями на эти работы[1].

Гидроизоляция стыков обделки из сборных железобетонных блоков может осуществляться при помощи гидроизоляционных мастик с последующей зачеканкой канавок в стыках водонепроницаемым расширяющимся цементом (ВРЦ).

В качестве гидроизоляционной мастики может быть рекомендована применяемая на строительстве метрополитена мастика «гидроизомаст».

Мастику наносят слоем 2—4 *мм* на поверхности продольных и кольцевых торцов блоков собираемого кольца.

Свойства мастики «гидроизомаст» и порядок производства работ с нею должны отвечать соответствующим техническим условиям[2].

Расчеканка швов расширяющимся цементом обделки из железобетонных блоков мало отличается от этой же работы, проводимой в сооружениях, имеющих обделку из тюбингов.

Для обеспечения высокого качества работ гидроизоляция подвергается испытанию на водонепроницаемость гидравлическим способом на участке длиной не менее 50 *м*.

Вода при испытании нагнетается за обделку через пробку со штуцером или болт со штуцером при давлении 5 *ати* в каждое десятое кольцо.

Гидроизоляция считается выдержавшей испытание, если при указанном давлении в течение трех часов не наблюдается никаких признаков просачивания воды.

Указанные выше способы и материалы, применяемые при гидроизоляции тюбинговых обделок, обеспечивают в эксплуатационных

---

[1] «Технические условия производства работ по гидроизоляции тоннелей». Часть II, ТУ-Т9-56, Минтрансстрой.

[2] «Технические условия производства бетонных и железобетонных работ при строительстве тоннелей». ТУ-Т10-56, Минтрансстрой.

условиях водонепроницаемость обделки подземного сооружения при гидростатическом давлении до 5 *ати* [8].

Нормы затрат по устройству изоляции тюбинговых обделок приведены в приложениях 7, 8.

г. Металлическая гидроизоляция

Металлическая гидроизоляция представляет собой слой металла толщиной обычно 2—3 *мм* и больше, уложенный по наружному или внутреннему контуру конструкции сооружения. Соединение отдельных листов металла выполняется обычно путем сварки.

Металлическая гидроизоляция устраивается следующим образом.

Отдельные листы металла укладывают на расстоянии 1—2 *см* от поверхности кладки (при внутренней изоляции) или от защитного слоя (при наружной изоляции) на прокладках из бетонных шашек, полос железа и т. п. После укладки листы металла герметически сваривают. Зазор между металлом и изолируемой поверхностью заполняется цементным раствором путем заливки или нагнетания.

Нагнетание раствора производится через специальные отверстия, устроенные в металлической изоляции. К отверстям приваривают обрезки трубок, имеющие нарезку или фланцы. После заполнения зазора раствором отверстия глушат пробками. Поверхность изоляции покрывают защитным слоем из бетона, железобетона и т. п. или цементным раствором.

При устройстве внутренней металлической гидроизоляции защитный слой не обязателен, если металлическая изоляция может сама воспринять гидростатическое давление воды или специально укреплена уголками жесткости по расчету на гидростатическое давление. В этих случаях является обязательным покрытие изоляции антикоррозийным слоем.

Металлическая гидроизоляция применяется в случаях невозможности устройства других видов изоляции, например при высоких температурах или при больших нагрузках, действующих на изоляционный слой.

Устройство металлической изоляции является трудоемкой работой, связанной с большими материальными затратами.

В подземном фортификационном строительстве металлическая изоляция применяется главным образом для устройства изоляции подземных складов ГСМ долговременного типа.

Примером устройства металлической изоляции по опыту зарубежных стран может служить один из американских автомобильных тоннелей, в котором установлена металлическая гидроизоляционная рубашка из листов волнистой стали. Этот двухпутный автомобильный тоннель длиной 150 м, построенный в 1916 г. и имевший обделку из бетона, вследствие разрушения стен, главным образом от фильтрации грунтовых вод, был на несколько лет закрыт.

В 1940 г. при реконструкции этого тоннеля было принято решение о замене старых стен новыми и устройстве металлической гидроизоляции из волнистой стали. Степень разрушения тоннеля была

такова, что вырубку старого бетона пришлось производить постепенно с одновременной установкой ребер из 200-миллиметровых стальных широкополочных двутавров, расположенных вдоль всего тоннеля с шагом в 1,2 *м*. По вогнутой поверхности стальных ребер была уложена перекрестная арматура (рис. 40). Гидроизоляционная металлическая рубашка состояла из стальных волнистых листов толщиной 0,95 *мм*, имевших защитное коррозийно-устойчивое покрытие из асбестовой мастики. Листы металлической рубашки закреплялись по старому бетону на 1,2 *м* ниже проезжей части дороги тоннеля при помощи 75-миллиметровых шурупов с квадратной головкой.

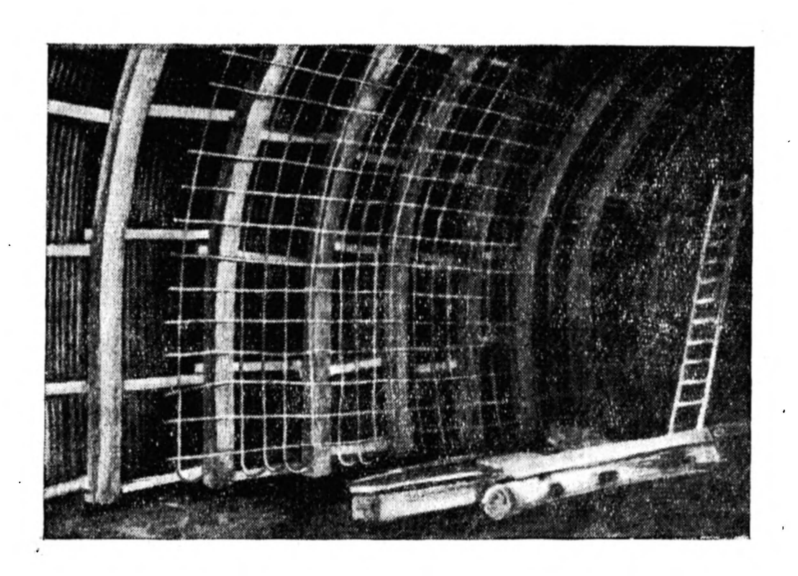


Рис. 40. Металлическая изоляция в автомобильном тоннеле

В самом тоннеле металлическая рубашка закреплялась только при помощи деревянных клиньев.

Под новыми пешеходными дорожками была проложена по обе стороны тоннеля щебеночная сточная канава с трубой. Гидроизоляционная металлическая рубашка доходила до сточной канавы и сбрасывала туда отведенную воду. Стоимость реконструкции тоннеля—около 45 долларов за 1 $м^2$. Шестилетние наблюдения за этим тоннелем показали, что металлическая гидроизоляционная рубашка абсолютно водонепроницаема.

д. Обмазочная и пластичная гидроизоляции

Обмазочная и пластичная гидроизоляции представляют собой тонкое покрытие из водонепроницаемой изолирующей массы, наносимой на изолируемую поверхность в холодном или горячем состоянии. Пластичная гидроизоляция, как и обмазочная, устраивается та-

ким же способом и главным образом из тех же материалов, с той лишь разницей, что выполнение ее связано с укладкой большего количества слоев (минимальное количество слоев 3).

Основными материалами для обмазочной и пластичной изоляции до последнего времени являлись:

— мастики, представляющие собой смеси нефтяных битумов с наполнителями (в качестве наполнителей применяются асбест, каменная мука и т. д.);

— битумные эмульсии и пасты;

— маты и плиты (если пластичная изоляция выполнена из матов и плит, наклеиваемых на заранее подготовленную поверхность);

— грунтовки для создания грунтовочного покрытия.

В зависимости от способа производства работ различают холодную и горячую изоляцию. Мастики (холодная и горячая) изготовляются на месте производства работ или поставляются заводами.

При изготовлении мастик на месте марки битума должны быть подобраны с учетом температурных условий строительства и эксплуатации сооружения. Наша отечественная промышленность выпускает битумные мастики в готовом виде с уже подобранной температурой размягчения.

Мастика битумная горячая в зависимости от температуры размягчения выпускается следующих марок: МБК-Г-65, МБК-Г-75, МБК-Г-85, МБК-Г-90.

Битумные мастики горячие должны отвечать следующим требованиям:

— при температуре 18 $\pm 2°$ должны быть твердыми, однородными и не иметь видимых включений;

— свободно наносится при температуре 160—180° жесткими щетками или гребками по ровной поверхности слоем до 2 *мм*.

Мастика битумная холодная марки МБК-Х-70 должна отвечать следующим требованиям:

— теплостойкость при уклоне 100% (под углом 45°) — не ниже 70°;

— срок схватывания — не более одних суток;

— не должна загустевать в течение длительного времени (до 6 месяцев) при хранении в герметической таре.

Состав грунтовочного покрытия, наносимого холодным способом, следующий: битума — 25—30%, растворителя — 75—70%. В качестве растворителя применяется главным образом низкосортный бензин и керосин. Наша отечественная промышленность выпускает следующие марки грунтовок: ГБК-70, ГБК-50, ГДК-50. Для обмазочной и пластичной изоляции наиболее подходящими являются грунтовки марок ГБК-70 и ГБК-50. Грунтовки должны быть жидкими, однородными, без видимых комков нерастворенного вяжущего и посторонних включений и свободно наноситься малярной кистью при температуре +10° и выше.

Наиболее предпочтительными для условий подземного строительства являются горячие битумные мастики, так как применение хо-

лодных мастик опасно в пожарном отношении и значительно ухудшает условия работы.

Более эффективными в условиях подземного строительства при устройстве обмазочной и пластичной изоляции являются битумные эмульсии и пасты.

Эмульсии представляют собой легко подвижный раствор, в котором битум содержится в виде мельчайших частиц. В состав эмульсии входят: битум, эмульгатор и вода.

Битумные эмульсии имеют частицы величиной до 1 микрона и отличаются большой клеящей способностью. Цвет эмульсии коричневый, от светлого до темного (в зависимости от степени дисперсности). Наиболее распространены эмульсии, содержащие 50—55% битума. Эмульсии могут сохраняться значительное время и, как правило, выдерживают температуру от 0 до 50°. Они применяются для покраски и пропитки материалов, причем в зависимости от назначения используются различные составы эмульсий, которые должны иметь следующие свойства:

	Медленно распадающиеся эмульсии (для пропитки)	Быстро распадающиеся эмульсии (для покрытия)
Удельный вес при температуре 25°С, не менее	1,01	1,01
Расслоение через 2 часа	**не расслаиваются**	**расслаиваются**
Остаток в % после нагревания 200 *мл* при температуре 163°С в течение 3 часов, не менее	55	55
Скорость распада 50 *мл* эмульсии в %, не более	20	—
Скорость распада 35 *мл* эмульсии в %, не более	—	60
Разгонка (по весу):		
масел, перегоняющихся при температуре до 260°С, в %, не более	2	2
остаток после нагревания до температуры 260°С, не более	55	55
растворимость в %, не менее	98	98
золы в %, не более.	1,25	1,25

Кроме того, эмульсии должны отвечать следующим общим требованиям:

— содержать не менее 40% битума;

— быть устойчивыми при встряхивании в течение 24 часов при температуре 20°, при нагревании до 50—60°, при замораживании до —10° и последующем оттаивании.

Битумные эмульсии имеют благоприятные защитно-изоляционные свойства и могут придавать материалам, в том числе и песчаным грунтам, водонепроницаемость. Эмульсии очень хорошо наносятся на различные поверхности, проникают в поры и пустоты материала, хорошо смешиваются с последними и связывают их частицы.

Наиболее подходящим для изготовления эмульсий является нефтяной битум марки БН-III (ГОСТ 1544—52).

В качестве эмульгаторов-стабилизаторов применяются различные вещества органического и минерального происхождения (мыла всех типов, олеиновая кислота, эфиры и т. д.).

Для изоляции материалов путем нанесения пленок рекомендуются следующие рецепты эмульсий:

1) 50—60% битума, 1—1,5% жирового вазелина, 0,1—0,15% NaOH, остальное — вода;

2) 50—60% битума, 0,25—0,5% олеиновой кислоты, 0,05—0,1% NaOH, остальное — вода;

3) 50—60% битума, 2—15% столярного клея, 0,2—0,15% NaOH, остальное — вода.

Изготовление эмульсий основано на общих методах получения коллоидных систем путем механического диспергирования битума. В настоящее время для изготовления эмульсий применяются следующие аппараты: мешалка ДОРНИИ, мешалка Смирнова, коллоидная мельница системы Концовского. Ориентировочная стоимость 1 *кг* эмульсии, по данным А. С. Коржуева, — 0,4 руб. [32].

Битумные пасты являются более грубодисперсными системами, чем эмульсии (размеры частиц 20—35 *микрон*). Паста образуется по типу минерализованных эмульсий, в которых роль поверхностно-активных веществ (эмульгатора-стабилизатора) выполняют известь, глина и т. д.

При диспергировании битума в известковом или глиняном тексте имеет место взаимная сорбция, в результате которой частицы битума покрываются тонкодисперсными частицами извести или глины, и на этих частицах образуются в свою очередь пленки битума.

Пасты хорошо смешиваются с материалами и связывают их частицы, хорошо наносятся на поверхность и примерно через 2—3 часа образуют водонепроницаемую пленку.

По сравнению с эмульсиями пасты дают менее плотную и эластичную пленку, поэтому при применении паст толщина пленок должна быть примерно в 2 раза больше. Пленки паст достаточно устойчивы к механическим повреждениям и температуре.

Хорошая паста сохраняется длительное время, но надо следить за тем, чтобы она не пересыхала. При удалении воды из паст она теряет свои свойства, распадается на составные части и становится непригодной к употреблению. При продолжительном хранении пасту периодически перемешивают и в случае необходимости заливают сверху водой.

Как уже было указано выше, пластичная изоляция может выполняться при помощи матов, наклеиваемых на подлежащую изоляции поверхность.

Битумный мат представляет собой изоляционный материал, состоящий из гибкого каркаса, который с обеих сторон покрыт битумом с наполнителями. Каркасом может служить джутовая или иная

ткань с расстоянием между нитями от 0,5 до 1,5 *мм* и больше, обычная холстина, брезент, металлическая сетка и т. п. Толщина матов колеблется в пределах 3—5 *мм* и выше. Маты или плиты могут изготовляться как заводским способом, так и на стройплощадке. В СССР заводским способом изготовлялись маты толщиной 5 *мм* с брезентовым каркасом. В качестве покровной массы при изготовлении этих матов служили нефтяные битумы с наполнителями.

В изоляции из пластичных матов или плит наиболее слабым местом в смысле водонепроницаемости являются стыки; их водонепроницаемость всегда находится под сомнением. Уменьшение количества стыков требует увеличения размеров матов или плит, что затрудняет их транспортировку и усложняет изоляцию криволинейных поверхностей.

Порядок производства работ при устройстве обмазочной и пластичной изоляции следующий.

При применении для этих целей мастик поверхность, подлежащую изоляции, сначала выравнивают, очищают и просушивают, после чего наносят грунтовочный слой. Расход грунтовки на 1 *м*² поверхности составляет, примерно, при работе вручную 200 *г*, а при механизированном нанесении — до 120 *г*.

После полного высыхания грунтовочного слоя (улетучивания из него растворителя) наносят холодную или горячую изолирующую массу при помощи щеток или шпателей. Массу наносят равномерными слоями толщиной 1—1,5 *мм*. Битумные мастики (горячие) перед нанесением их на изолируемую поверхность должны быть нагреты до 180—200°, а в период нанесения температура их должна быть не ниже 160°. Число слоев при обмазочной изоляции составляет 1—2, а при пластичной — минимум 3 слоя. Каждый последующий слой наносят после остывания (при горячей изоляции) или после полного высыхания (при холодной изоляции) предыдущего слоя. Продолжительность просыхания изолирующего слоя (при холодной изоляции) от 1 до 3 дней.

Техника выполнения изоляции из битумных паст и эмульсии проста. Нанесение эмульсий на изолируемую поверхность по своему характеру очень близко к малярным работам. Битумную эмульсию можно наносить путем налива с последующим разбрызгиванием или же путем непосредственного окрашивания кистями. Толщина наносимого слоя из битумных эмульсий составляет 1—3 *мм*. Через 1—2 часа после нанесения эмульсий образуется изоляционная пленка.

Защита гидроизоляционной пленки, получаемой при нанесении на изолируемую поверхность битумных эмульсий и паст, может осуществляться при помощи битумно-грунтовой смеси, которая состоит из 85—90% местного грунта, 10—7% битума и 5—3% портландцемента с добавкой воды до рабочей консистенции. Битумно-грунтовая смесь изготовляется следующим образом. Грунт просеивают через грохот с отверстиями 2—3 *мм* и переносят в большой ящик. К грунту добавляют воду до получения густой тестообразной массы. Затем эту смесь тщательно перемешивают и к ней при перемешивании

сначала добавляют битум, потом портландцемент. Если смесь оказывается густой, то к ней добавляют воду до образования консистенции, соответствующей штукатурным растворам.

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГО) предложил способ многослойной гидроизоляции, состоящей из пленок битумных эмульсий или паст и уложенных между ними защитных слоев битумно-грунтовой смеси. Проведенные по этому способу многочисленные испытания изоляции резервуаров, водоемов и других сооружений дали вполне удовлетворительные результаты.

Изоляцию из пластичных матов осуществляют путем наклейки их на подготовленную (чистую, ровную и сухую) поверхность при помощи горячей битумной мастики. Швы между матами промазывают битумной мастикой и укрепляют путем наклейки рулонных гидроизоляционных материалов. Уложенную из матов или плит изоляцию покрывают тонким слоем битумной мастики.

Основными достоинствами окрасочной и пластичной изоляции являются:

— хорошая изолирующая способность, наличие у материалов, применяемых при устройстве этих изоляций, пластических свойств, предохраняющих изоляцию от растрескивания при небольших деформациях сооружения;

— высокая экономичность, особенно при применении битумных паст и эмульсий;

— возможность устройства при применении битумных паст и эмульсий изоляции по мокрым поверхностям;

— возможность производства быстрого ремонта (при внутренней изоляции).

К недостаткам этих видов гидроизоляции следует отнести:

— эффективность только при воздействии безнапорных грунтовых вод и вод небольшого напора (до 1 *ати*), что значительно снижает диапазон применения этих видов изоляции;

— легкая повреждаемость изолирующего слоя при значительных деформациях сооружения и воздействии динамических нагрузок.

В последнее время в результате проведенных научно-исследовательских работ выявлена возможность применения для обмазочной гидроизоляции материалов на базе синтетических смол. Особое внимание в этом отношении должно быть уделено использованию для окрасочной и пластичной гидроизоляции эпоксидной смолы, бензостойких лакокрасочных материалов, каменноугольного лака и других материалов на базе синтетических смол.

Эпоксидные смолы марок ЭД-5 и ЭД-6 являются продуктами конденсации эпихлоргидрина и дифенилпропана и представляют собой труднорастекающиеся жидкости светло-коричневого цвета.

Бензостойкие лакокрасочные материалы получают в результате растворения эпоксидных смол марок ЭД-40 и ЭД-41 в органических растворителях, а каменноугольный лак — в результате растворения каменноугольного пека в ароматических соединениях.

Гидроизоляционные покрытия, выполняемые на эпоксидных смолах, бензостойких лакокрасочных материалах и каменноугольном лаке, имеют следующие свойства:

	На эпоксидных смолах	На бензостойких лакокрасочных материалах	На каменноугольном лаке
Влагопроницание при t =18° и относительной влажности воздуха φ =70%, *г/м²·час* .	0,055—0,060	0,095—0,120	0,205
Сопротивление гидравлическому давлению на отрыв покрытия от бетонной поверхности, *ати*	7—6	5	2
Стойкость в агрессивной среде (морская вода, растворы Na_2SO_4 и $NaCl$ 3-процентной концентрации)	стойкие	стойкие	стойкие
Расход на 1 *м²* изолируемой поверхности, *кг*	0,4—0,6	0,9—1,1	1,2

Гидроизоляционное покрытие на эпоксидных смолах образуется путем нанесения подготовительного, основного и покрывного слоев, которые имеют следующие составы (в весовых частях):

	Подготовительный слой	Основной слой
Эпоксидная смола марки ЭД-5 (ВТУ М-688—56) или марки ЭД-6 (ВТУ М-646—55)	100	100
Ацетон-растворитель (ГОСТ 2768—44):		
при применении смолы марки ЭД-5	60	20
при применении смолы марки ЭД-6	100	25
Дибутилфталат-пластификатор (ГОСТ 3863—47)	5	7
Полиэтиленполиамин (ВТУ П-10—57)	10	10

В состав покрывного слоя дополнительно к составу основного слоя вводится для придания покрытию светлой окраски пигмент-алюминиевая пудра в количестве 10%.

Изолирующая масса приготовляется в холодном состоянии в следующей последовательности: эпоксидная смола растворяется в ацетоне, добавляется дибутилфталат, вводится пигмент, вводится отвердитель. После добавления каждого компонента производится тщательное перемешивание до получения однородной массы. Алюминиевая пудра и отвердитель вводятся в состав непосредственно перед нанесением на изолируемую поверхность. Приготовление изолирующей массы производится либо вручную в бочках, либо в металлических закрытых емкостях, оборудованных лопастной мешалкой.

Готовая смесь без отвердителя и алюминиевой пудры может храниться в герметической таре 3—5 суток, в случае загустевания ее разбавляют ацетоном в количестве не более 5—7% от веса смеси.

Нанесение гидроизоляционного покрытия производится по следующей технологической схеме:

— подготовка и сушка изолируемой поверхности;
— нанесение подготовительного слоя;
— сушка подготовительного слоя в течение двух суток;
— нанесение основного слоя;
— сушка основного слоя в течение двух суток;
— нанесение покрывного слоя;
— сушка покрывного слоя и выдержка всего покрытия в течение 20 суток.

Поверхность, подлежащая изоляции, должна быть чистой, ровной, сухой и иметь температуру не ниже +10° С.

Нанесение покрытия производится вручную кистями-ручниками или кистями-флейцами (из щетины), либо механизированным способом с использованием пистолетов-распылителей 0—45, 0—19.

Пленка из эпоксидной смолы марки ЭД-6, обладая высокими механическими свойствами (при толщине 0,2—0,3 *мм*), даже при нанесении ее на бетонную поверхность со стороны, противоположной действию напора воды, является водонепроницаемой при давлении до 5 *ати*. Заслуживают внимания и результаты исследований, проведенных И. И. Киселевым [30], который предлагает для обмазочной гидроизоляции использовать пластикатную массу, обладающую следующими свойствами: удлинение при разрыве — 300%, прочность на разрыв — 200—250 $кг/см^2$.

Пластикатная масса (предложенная И. И. Киселевым), наносимая в жидком состоянии на поверхность конструкции с последующим ее отвердением путем кратковременного прогрева (5—7 минут при температуре 70—80°С), обладает необходимой эластичностью в пределах от —25 до +80°. Стоимость 1 $м^2$ покрытия при толщине пленки 0,8—1,2 *мм* составляет 7—8 руб.

Применение (после проверки в производственных условиях) новых материалов на базе синтетических смол значительно расширит границы применения обмазочной и пластичной гидроизоляции в практике подземного строительства.

Окрасочная и пластичная гидроизоляции давно нашли широкое применение в народном хозяйстве для гидроизоляции гидротехнических сооружений, резервуаров, водоемов и т. п.

Из многочисленных примеров использования битумных эмульсий и паст нами приводится пример устройства гидроизоляции одного из водоемов в г. Москве. Гидроизоляция этого водоема (емкостью 900 $м^3$ при глубине 3 *м*) была выполнена по способу ВСЕГИНГО и состояла из 3 пленок битумной эмульсии (первая — толщиной 0,5—4 *мм*, две последующие — по 0,5—3 *мм*) и заключенных между ними двух слоев битумно-грунтовой смеси по 5—15 *мм*. Общая толщина изолирующего покрытия достигала 40 *мм*. При испытании гид-

роизоляции в течение 4 лет фильтрации воды из водоема не происходило.

Примером устройства пластичной гидроизоляции из битумных матов являются работы по гидроизоляции, проводившиеся на строительстве одной из гидроэлектростанций Советского Союза.

Для гидроизоляции железобетонного понура этой станции были применены пластичные маты. Общая потребность в матах составила 3000 *м²*. В качестве арматуры для битумных матов была использована мешковина шириной 155 *см*. Для пропитки тканей применялся битум марки БН-III. Покровная мастика имела следующий состав: битума марки БН-III — 37%, солярового масла — 3%, цемента —60%.

Битумные маты изготовляли на месте строительства. Маты применяли длиной 8 *м* и шириной 0,8 м (мешковину разрезали пополам). Вес мата составлял 5—6 *кг*. Приготовление покровной массы производили в двух передвижных битумных котлах емкостью по 1,5 *м³*. Расход материалов на 1 *пог. м* мата составил: битума — 0,9 *кг*, ткани — 1 *м*, битумной мастики — 3,2 *кг*, цемента—0,62 *кг*.

В практике подземного фортификационного строительства обмазочная и пластичная гидроизоляции еще не нашли до сего времени широкого применения, хотя целесообразность использования их в определенных гидрогеологических условиях не вызывает сомнения.

Обмазочная и пластичная гидроизоляции, выполняемые из паст и мастик, могут найти применение, в первую очередь, для изоляции полевых подземных сооружений, подвергающихся воздействию ненапорных поверхностных и атмосферных вод.

е. Нагнетание растворов за обделку подземных сооружений

Нагнетание за обделку подземных сооружений имеет своей целью тщательное заполнение всех пустот между обделкой и породой для равномерного распределения горного давления по периметру сооружения, предупреждения деформации обделки и осадок наземных сооружений, а также для улучшения гидроизоляционных и антикоррозийных свойств обделки.

Нагнетание за обделку производится во всех случаях независимо от гидрогеологических условий, типа и материала обделки. При нагнетании за обделку расходуется большое количество материалов. Достаточно указать на то, что расход цемента, нагнетаемого за 1 *пог. км* перегонного тоннеля, имеющего тюбинговую обделку и возводимого щитовым способом в грунтах V категории, составляет около 2000 *т*, а общая стоимость работ по нагнетанию — 594,0 тыс. рублей.

Нагнетание бывает первичным, повторным и контрольным. Первичное нагнетание производится гравием, щебнем или цементно-песчаными растворами с целью первоначального заполнения пустот за обделкой.

Повторное нагнетание производится цементно-песчаными растворами (при первичном нагнетании гравия или щебня) или цементным молоком (при первичном нагнетании цементно-песчаных растворов). Повторное нагнетание для растворов является одновременно и контрольным.

При первичном нагнетании за обделку гравия или щебня после повторного нагнетания цементно-песчаных растворов производится контрольное нагнетание цементным молоком.

Нагнетание за обделку гравия или щебня производится:

— при наличии неустойчивых грунтов в кровле и при необходимости предохранить незакрепленную кровлю свода от обрушения на обделку;

— при размерах пустот (переборов) в боках и своде против наружной поверхности щита, превышающих 50 *мм* при работе отбойными молотками и 100-*мм* — при взрывном способе;

— при размере переборов в лотке под щитом, превышающем 50 *мм* при вышеуказанных способах работ.

Рекомендуемые составы растворов для нагнетания за обделку (при положительных температурах), указания о максимальных давлениях нагнетания приведены в приложении 9 [9].

Материалы, применяемые для нагнетания, должны соответствовать:

— цементы — соответствующим ГОСТам;

— гравий — ГОСТу 2779—50—(по содержанию органических примесей и морозостойкости), крупность его не должна превышать 1/4 диаметра отверстия для нагнетания;

— песок, предварительно просеянный через сито с отверстиями 2,5 *мм* — ГОСТу 278—50 (по содержанию органических примесей);

— концентраты сульфитно-спиртовой барды, в том числе и термообработанные (термополимер) — ГОСТу 6003—51;

— мылонафт — ГОСТу 515—39;

— хлористый кальций — ГОСТу 450—51;

— алюминат натрия — инструкции Министерства строительства И-196—54.

До настоящего времени в качестве вяжущего для растворов, предназначенных для нагнетания за обделку подземных сооружений, применяются портландцемент, пуццолановый и шлакопортландцементы марки не ниже «200».

Следует отметить, что растворы на этих цементах имеют ряд существенных недостатков, к числу которых относятся:

— размывание и расслаивание даже при очень небольших скоростях грунтовых вод;

— медленное нарастание прочности, особенно в ранние сроки, что не позволяет более эффективно использовать силы пассивного отпора грунта и предотвратить деформации обделки;

— недостаточная водонепроницаемость, в результате которой вызывается необходимость в устройстве дополнительных гидроизоляционных конструкций (торкретная, оклеечная гидроизоляции и т. д.);

— очень медленные сроки схватывания и связанные с этим значительные потери раствора (утечка раствора внутрь сооружения, распространение раствора в породе на большое расстояние);

— необходимость в повторном (контрольном) нагнетании, вызываемая наличием пустот за обделкой, образуемых в результате вымывания цемента грунтовыми водами, утечкой цемента, усадкой раствора и недостаточной его водонепорницаемостью.

Конечная прочность растворов на этих цементах практически, с точки зрения улучшения работы конструкции, не используется, так как к тому времени форма обделки подземного сооружения (особенно в слабых грунтах) стабилизируется.

Величина потерь раствора и цемента при нагнетании за обделку иллюстрируется нами на примере производства работ в перегонном тоннеле Московского метрополитена. Объем пространства за обделкой из чугунных тюбингов, который должен быть заполнен цементным раствором, состоит из строительного зазора (объем между наружной поверхностью щита $d_{щ}$ и внешним диаметром обделки $d_{об}$) и неизбежных переработок породы (особенно при буро-взрывном способе работ) против намеченного проектом профиля.

При $d_{щ}=6{,}16$ *м* и $d_{об}=6{,}0$ *м* объем строительного зазора на 1 *пог. м* составит:

$$\left(\frac{3{,}14\cdot 6{,}16^2}{4}-\frac{3{,}14\cdot 6{,}0^2}{4}\right)\cdot 1=29{,}75-28{,}26=1{,}49\ м^3.$$

Объем пространства за обделкой, образующийся в связи с переработкой профиля поперечного сечения тоннеля, при условии, что согласно нормам [5] перебор грунта при буро-взрывном способе работ против наружной поверхности щита допускается на 100 *мм*, составит:

$$\left(\frac{3{,}14\cdot 6{,}26^2}{4}-\frac{3{,}14\cdot 6{,}16^2}{4}\right)\cdot 1=30{,}77-29{,}75=1{,}02\ м^3.$$

Таким образом, общий объем пустот за обделкой, подлежащий заполнению раствором, составит на 1 *пог. м*

$$1{,}49+1{,}02=2{,}51\ м^3.$$

Расход раствора состава 1 : 3 (для первичного нагнетания) и 1 : 0 (для повторного нагнетания) на 100 $м^2$ наружной поверхности обделки составляет соответственно 19,1 $м^3$ и 3,2 *т* или на 1 *пог. м* — 3,60 $м^3$ и 0,60 *т*.

При расходе цемента на 1 $м^3$ 0,370 *т* (для раствора 1 : 3) общая потребность в цементе для нагнетания за обделку на 1 *пог. м* тоннеля составит:

$$3{,}60\cdot 0{,}370+0{,}60=1{,}33+0{,}60=1{,}99\ т.$$

При общем объеме потребного для нагнетания за обделку раствора

$$3{,}60+\frac{0{,}60}{1{,}3}=3{,}60+0{,}46=4{,}06\ м^3$$

объем теряемого раствора на 1 *пог. м* составит:

$$\frac{4{,}06-2{,}51}{4{,}06}\cdot 100=37\%,$$

что соответствует потери цемента

$$\frac{1{,}99\cdot 37}{100}=0{,}736\ т.$$

За последнее время проведен ряд исследований как по улучшению основных свойств растворов на обычных цементах, применяемых для нагнетания за обделку, так и в направлении возможности применения для этих целей растворов на базе других цементов.

На основе теоретических и экспериментальных исследований, проведенных нами [43], установлена возможность, а также техническая и экономическая эффективность применения для нагнетания за обделку растворов на напрягающемся и гипсо-глиноземистом расширяющихся цементах, позволяющих улучшить гидроизоляционные свойства как раствора за обделкой, так и материала конструкции. Применение растворов на расширяющихся цементах для нагнетания за обделку позволяет также придавать конструкциям кругового очертания предварительное напряжение самым выгодным, с экономической точки зрения, способом: путем расширения раствора за обделкой в ограниченном пространстве.

Нагнетание раствора за обделку производится:

— при обделке из тюбингов через отверстия, имеющиеся в каждом тюбинге (кроме замкового);

— при монолитной обделке через металлические трубки d=40—50 *мм*, заложенные в шахматном порядке по стенам и своду сооружения, или через специально пробуренные скважины. Первый ряд скважин располагается обычно на высоте 1 *м* над подошвой стены. При возведении сооружений, имеющих обделку из бетонных или железобетонных блоков, в последних должны быть предусмотрены отверстия для нагнетания.

Расстояния между скважинами зависят от гидрогеологических условий: при трещиноватых водоносных породах расстояние между скважинами должно быть не более 2 *м*, при песчанистых — не более 1 *м*, при плотных неводоносных или глинистых грунтах — не более 2,5 *м*.

Первичное нагнетание растворов при сборной обделке, как правило, производят в каждое собранное кольцо (отставание более чем на 3 кольца от забоя или щита не допускается) и осуществляют последовательно снизу вверх в каждое отверстие, начиная с лотковых тюбингов или блоков. Повторное нагнетание производят по всему периметру сооружения не ранее чем через 48 часов после окончания первичного нагнетания. При первичном нагнетании гравия повторное нагнетание не должно отставать от первичного более чем на 5—8 колец. Контрольное нагнетание в этом случае производят на расстоянии от забоя не более 30 *м*. Повторное нагнетание раствора производят вслед за проходкой сооружения на расстоянии от забоя не более 30 *м*; оно должно опережать работы по гидроизоляции не менее чем на 25 *м*.

При монолитной обделке работы по первичному нагнетанию производят вслед за раскружаливанием обделки на участке не менее 20 *м* и ведут одновременно с обеих сторон снизу вверх через скважины нижнего горизонтального ряда, расположенные выше уровня лотка на 1 *м* (рис. 41), т. е. скважины *I, III, V* и т. д.

Пространство около каждой скважины считается заполненным удовлетворительно, если скважина не принимает раствора при установленном для данной обделки предельном давлении. Нагнетание в скважины первого нижнего ряда должно быть закончено на всей длине участка. После окончания нагнетания в скважины первого ряда производится нагнетание в скважины третьего по высоте ряда (т. е. через 1 ряд), а именно, в скважины *I—1, III—1, V—1* и т. д.

Нагнетание в верхнюю часть (свод) обделки производится только после окончания первичного нагнетания за стены сооружения через скважины, расположенные кольцевыми рядами, и начинается одновременно с обеих сторон свода.

Нагнетание следует производить сначала в скважины кольца *I* (*I—3, I—5*), переходя постепенно от нижних скважин к верхним, и в последнюю очередь в замковые скважины. В таком же порядке производят нагнетание в скважины следующего кольца *III* (*III—3, III—5*) и т. д. Повторное (контрольное) нагнетание производят через скважины контрольного нагнетания и в той же последовательности.

Первичное нагнетание растворов за обделку производят с помощью различных растворонагнетателей и растворонасосов. Наибольшее распространение в практике подземного строительства получил для этих целей растворонагнетатель ДМ-3 (Дмитровского завода).

Наиболее перспективным из растворонагнетателей, применяемых в подземном строительстве, является растворонагнетатель РНЩ, опытную партию которого изготовляет Узловский машиностроительный завод (Тульского совнархоза). Габаритные размеры и вес этого растворонагнетателя на 25% меньше, чем у растворонагнетателя марки ДМ-3.

Техническая характеристика растворонагнетателя РНЩ:

Производительность смесителя, *м³/час*	1,25
Объем резервуара смесителя, *м³*	0,2
Число оборотов лопастей смесителя, *об/мин*	42
Давление сжатого воздуха, *кг/см²*	6
Мощность электродвигателя, *квт*	4
Габариты, *мм:*	
длина	2183
ширина	700
высота	1020
Вес, *кг*	1070

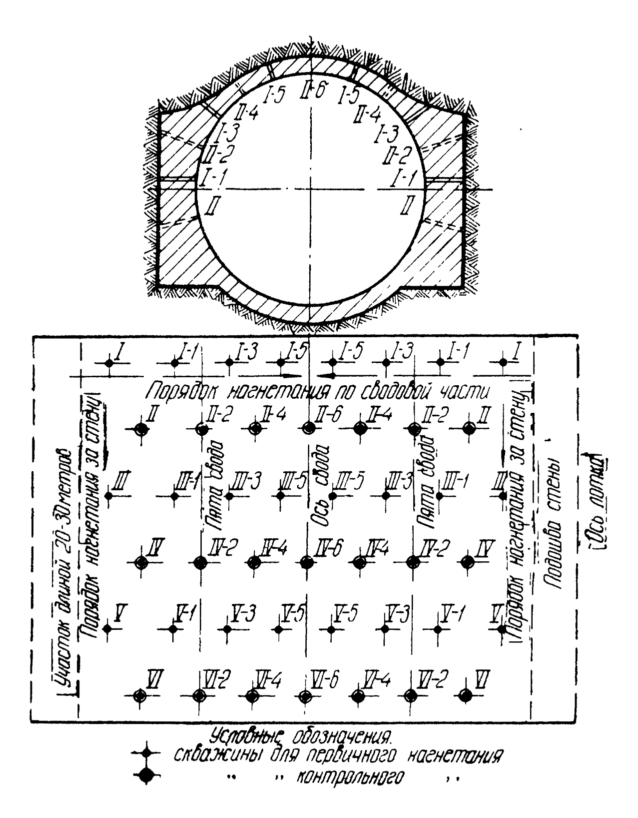


Рис. 41. Производство работ при нагнетании раствора за монолитную обделку подземных сооружений

Наибольшее распространение для контрольного нагнетания получил насос Ленметростроя, растворонасос Соколова-Соколовского (РН-1), машины типа «Е» и др.

Технические данные отдельных растворонасосов, нашедших применение в практике подземного строительства, следующие:

	РН-1	Насос Ленметростроя
Производительность, *м³/час*	6	4
Максимальное рабочее давление, *ати*	15	15
Дальность подачи раствора, *м:*		
по горизонтали	200	200
по вертикали	40	40
Мощность электродвигателя, *квт*	7	3,2
Габаритные размеры, *мм:*		
длина	2950	1480
ширина	1130	680
высота	1450	1050
Вес, *кг*	1450	635

Нормы затрат и стоимость работ по нагнетанию за обделку подземных сооружений приведены в приложениях 10 и 11.

ж. Комбинированная изоляция

Комбинированная изоляция — сочетание дренажных и водоотводных устройств с различными видами изоляции. Следует отметить, что основную роль в этой системе играют гидроизоляционные оболочки и покрытия. В связи с тем, что все основные виды гидроизоляции уже были разобраны выше, комбинированная изоляция будет рассмотрена на примере устройства изоляции типа зонтов в сочетании с дренажными устройствами.

В подземных сооружениях, имеющих архитектурную отделку, ценное оборудование и требующих совершенной сухости, прибегают, помимо основной гидроизоляции, к дополнительным гарантийным мероприятиям, исключающим попадание воды внутрь сооружения. К таким мероприятиям относится и устройство гидроизоляционных зонтов.

Зонты, как правило, устраивают в верхней сводовой части сооружения, но иногда продолжают и по периметру стен. Вода, просачивающаяся через несущую конструкцию, падает на зонт, стекает с него и отводится во внутренний дренаж при помощи трубок, желобов, канавок и т. п.

К зонтам предъявляют следующие требования:

— зонты должны быть прочными, плотными и водонепроницаемыми по всей поверхности и в стыках;

— материал зонтов должен быть не поглощающим воду и устойчивым против коррозии и размыва;

— конструкции зонтов должны быть легко собираемые и разбираемые;

— внутренняя поверхность зонтов должна обладать надлежащим сцеплением со штукатуркой.

Известны следующие типы зонтов: металлические, железобетонные (монолитные или из железобетонных плит), из асбоцементных плит.

Однако наибольшее распространение получили зонты из асбоцементных плит специального профиля, обеспечивающие непроницаемость стыков.

Асбоцементные зонты более отвечают требованиям, предъявляемым к гидроизоляционным зонтам, так как они прочны и долговечны, обладают легким весом, транспортабельны и удобны в монтаже, а стоимость их ниже, чем всех других видов зонтов. На строительстве метрополитена в качестве материала для зонтов с третьей очереди строительства применяются только асбоцементные панели.

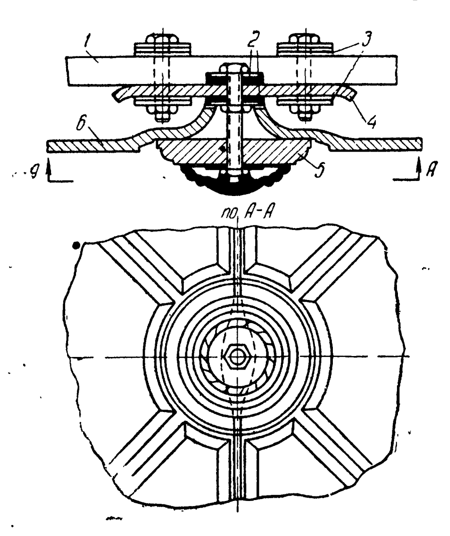


Рис. 42. Крепление зонта к обделке тоннеля: *1* — траверса; *2* — металлические шайбы; *3* — асбоцементные шайбы; *4* — асбоцементная арка; *5* — асбоцементная прижимная накладка *А*; *6*—асбоцементная картина

Более детально устройство гидроизоляционных зонтов рассмотрим на примере сборно-разборного зонта из асбоцементных картин на станции «Фрунзенская» Московского метрополитена.

Зонт подвешивается к внутренней поверхности чугунных тюбингов посредством траверсы, выполненной из ацеида (прессованные асбоцементные доски), и асбоцементной арки, которая перекрывает щель стыка картин (рис. 42).

Эта арка имеет через каждые 75 *см* шпильки, к которым прикрепляются прижимные накладки из ацеида, несущие панель самого свода. Каждая панель крепится шестью болтами посредством прижимных ацеидовых накладок (по углам картины накладки квадратной формы, промежуточные — круглые). Места для накладок отформованы в картинах плоскими (рис. 43).

При устройстве зонта применялись картины размером 1,5×1,5 *м* и толщиной 10 *мм*. Окраска зонта, выполненная в заводских условиях перхлорвиниловыми эмалями (ПХВ-1 белая), исключает малярные работы не только после сборки зонта, но и в период эксплуатации, так как поверхность, покрытую этой эмалью, можно мыть горячей водой [39].

Основное требование, которое предъявляется ко всем типам зонтов, заключается в том, чтобы при устройстве изоляции предусматривалось вентилируемое пространство между зонтом и обделкой, которое должно создать нормальный температурный режим с обеих сторон зонта.

Нормы затрат и стоимость работ по устройству изоляции типа зонтов приведены в приложениях 12 и 13.

Изоляция типа зонтов применяется в строительстве станционных тоннелей метрополитена, а также долговременных подземных фортификационных сооружений, имеющих, как правило, тюбинговую обделку (командные пункты ПВО, заводы и т. д.).

Приводимые в настоящей работе данные о нормах затрат и стоимости различных видов гидроизоляции предусматривают:

— закрытый способ работ в три смены и обычные условия работы (теснота, искусственное освещение и вентиляция, незначительный капеж и наличие воды под ногами и т. д.);

— классификацию грунтов и пород, приведенную в приложении 14;

— применение бетона и растворов на портландцементе;

— состав работы, материалы и механизмы согласно СН и П IV [5].

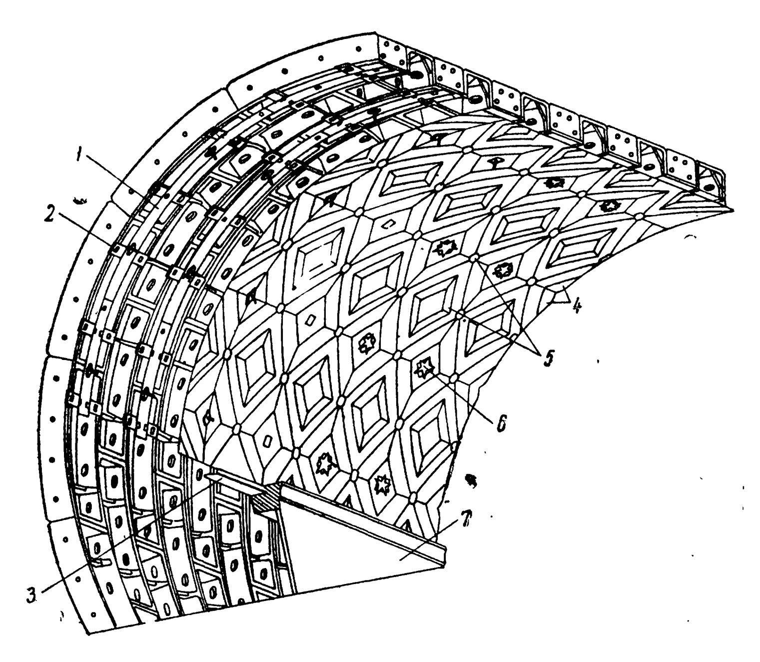


Рис. 43. Конструкция асбоцементного зонта на станции «Фрунзенская» Московского метрополитена: *1* — асбоцементная арка; *2* — асбоцементная траверса; *3* — асбоцементный желоб; *4*—асбоцементные картины; *5* — асбоцементные прижимные шайбы; *6*— асбоцементный прижимной лист; *7* — путевая стена

При изменении условий работы и при применении других материалов и механизмов к нормам затрат и стоимости работ по гидроизоляции следует применять поправочные коэффициенты в соответствии с указаниями по применению единых районных единичных расценок на строительные работы [12] и технической части сборника № 20 ЕРЕР [6].

Стоимость машино-смены оборудования и материалов, применяемых при производстве гидроизоляционных работ, приведена в приложениях 15 и 16.

§ 2. ПОВЫШЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА ОБДЕЛОК ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Повышение водонепроницаемости бетонных и железобетонных конструкций подземных сооружений долговременного типа достигается:

— правильным подбором состава бетона;

— пропиткой готовых элементов различными материалами;

— применением способов, основанных на улучшении технологии изготовления конструкции (механическое уплотнение малопластичных жестких смесей, введение поверхностно-активных, пластифицирующих и других добавок и т. д.).

а. Особенности подбора состава бетона, применяемого для подземных конструкций

Кроме общих требований (прочность, удобоукладываемость и подвижность смеси и т. д.) к бетону, применяемому для подземных конструкций, предъявляются требования по водостойкости и водонепроницаемости.

По водонепроницаемости, определяемой величиной наибольшего давления, при котором не наблюдается просачивание воды через образцы в возрасте 28 дней, бетоны, применяемые для подземных конструкций, делятся на следующие марки:

В2, выдерживающие давление воды не менее 2 *кг/см*^{2};

В4, выдерживающие давление воды не менее 4 *кг/см*^{2};

В8, выдерживающие давление воды не менее 8 *кг/см*^{2};

Подбор состава бетона для подземных конструкций заключается в выборе цемента (с учетом агрессивности воды — среды) и заполнителей, в определении максимально допустимой величины водоцементного отношения, минимального расхода цемента на 1 *м*^{3} бетона и оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей, обеспечивающих получение бетона требуемых свойств при минимальном расходе цемента.

Выбор водо-цементного отношения и наименьшего расхода цемента при расчете состава бетона для подземных конструкций зависит от условий их работы.

	Наибольшее допускаемое водо-цементное отношение	Наименьший расход цемента (плюс добавка), *кг* на 1 *м*^{3} бетона
Не испытывающие напора воды и находящиеся в пресных водах . . .	0,70	225
То же, но находящиеся в агрессивных водах	0,53	300

Испытывающие напор воды:		
В2	0,65	250
В4	0,53	300
В8	0,50	330
То же, но в агрессивных водах (независимо от марки бетона по водонепроницаемости)	0,5	330

Примечание. Все данные относятся к подземным сооружениям, не подвергающимся замерзанию.

Песок, щебень и гравий, применяемые для изготовления конструкций подземных сооружений, должны отвечать требованиям ГОСТ 4797—56 «Бетон гидротехнический. Технические требования к материалам для его приготовления».

Щебень и гравий (из прочных и плотных пород) применяют крупностью от 5 до 100 *мм*. Рекомендуемое соотношение фракции заполнителя приведено в табл. 11.

Таблица 11

Рекомендуемое соотношение фракций заполнителя

Наибольшая крупность $Д_{наиб}$, *мм*	Фракции, %			
	5—20	20—40	20—60	40—100
40	45—60	40—55	—	—
60	35—50	—	50—65	—
100	25—35	25—35	—	30—50

Водостойкость бетона против агрессивного действия воды — среды обеспечивают правильным выбором вяжущего для бетона с учетом признаков и норм агрессивности воды — среды, подбором состава плотного бетона и тщательным уплотнением бетонной смеси при укладке.

Выбор вяжущего для бетона производится в зависимости от условий службы конструкции. Для конструкции подземных сооружений, подвергающихся действию пресных вод при температуре выше 0°, в качестве вяжущего могут применяться гипсоглиноземистый цемент, пуццолановый портландцемент, шлакопортландцемент, портландцемент, а для конструкций, подвегающихся действию минерализованных вод (морской и аналогичной ей), — сульфатостойкий портландцемент, сульфатостойкий пуццолановый портландцемент и шлакопортландцемент.

Агрессивность подземных вод оценивают по следующим признакам:

— по гидрокарбонатной щелочности — агрессивность выщелачивающая;

— по содержанию водородных ионов (оцениваемой значениями *р*Н) — агрессивность общекислотная;

— по содержанию свободной углекислоты — агрессивность углекислая;

— по содержанию сульфатов (ионов SO_4'') — агрессивность сульфатная;

— по содержанию магния ($Mg^{\cdot\cdot}$) —агрессивность магнезиальная.

Для правильного выбора вяжущего материала обделки установлены нормы агрессивности воды — среды, которые приведены в приложении 17.

Пользуясь данными химического анализа и нормами агрессивности воды — среды, можно правильно выбрать цемент для материала обделки подземного сооружения, по отношению к которому вода не является агрессивной. При агрессивности воды — среды по отношению к выбранному цементу хотя бы по одному из признаков водостойкость бетона конструкции обеспечивается специальными мероприятиями: гидроизоляцией, применением бетона повышенной плотности, защитных внешних оболочек, дренажа и т. д. Необходимо отметить, что в качестве вяжущего для бетонных и железобетонных конструкций подземных сооружений наиболее широкое применение нашли портландцемент и пуццолановый портландцемент.

Расчет состава бетона производится по методу абсолютных объемов.

Пример выбора цемента для подземных конструкций и оценки агрессивности воды

Дано: Содержание в воде ионов в *мг/л*:

SO''_4—1460, Cl'—2187, HCO'_3—150, $Ca^{\cdot\cdot}$—437, $Mg^{\cdot\cdot}$—271, $Na^{\cdot}$—1158;
в *мг-экв/л*:
SO''_4—30,4, Cl'—61,6; HCO'_3—2,46; $Ca^{\cdot\cdot}$—21,8; $Mg^{\cdot\cdot}$—22,3; $Na^{\cdot}$—50,4.

Содержание свободной CO_2—63 *мг/л*, гидрокарбонатная щелочь (временная жесткость)—2,5 *мг-экв/л*, водородный показатель (*p*H)—6,7.

Требуется определить агрессивность воды—среды по отношению к бетонной конструкции толщиной 0,4 *м*, расположенной в грунте с коэффициентом фильтрации 1 *м/сутки*, на которую воздействуют напорные воды.

Выщелачивающая агрессивность. Согласно данным табл. 1 приложения 17 вода не обладает выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону на любом цементе, так как содержание гидрокарбонатной щелочности (2,5 *мг-экв*) превышает минимально допустимые величины (1,0 и 0,4 *мг-экв*).

Общекислотная агрессивность. Согласно данным табл. 2 приложения 17 вода не обладает общекислотной агрессивностью по отношению к бетону на любом цементе, так как величина водородного показателя (*p*H) для данной воды (6,7) превышает минимально допустимые величины (6,4 и 6,6).

Углекислая агрессивность. Согласно табл. 3 и 4 приложения 17 для воды данного состава допустимое содержание свободной углекислоты составляет:

— при применении портландцемента:

$$a\ [Ca^{\cdot\cdot}]+в+k=0{,}05\cdot 437+18+25=64{,}9 \text{ мг/л};$$

— при применении смешанных цементов:

$$a\ ]Ca^{\cdot\cdot}]\,в+\ +k=0{,}05\cdot 437+18+20=59{,}9 \text{ мг/л}.$$

Следовательно, данная вода, содержащая 63 *мг/л* свободной CO_2, агрессивна по отношению к бетону на пуццолановом, песчано-пуццолановом и шлаковом портландцементах и не агрессивна по отношению к бетону на портландцементе

Сульфатная агрессивность. Согласно данным табл. 5 приложения 17 содержание ионов SO''_4 для группы несульфатостойких цементов не должно превышать 100+0,15 [Cl'] *мг/л*, т. е. 100+0,15·2187=428 *мг/л*. Для сульфатостойкого портландцемента (табл. 6 приложения 17) соответствующий предел составляет 2500 *мг/л*, а для сульфатостойких смешанных цементов — 3500 *мг/л*. Следовательно, вода данного состава, содержащая 1460 *мг/л* SO''_4, обладает сульфатной агрессивностью только по отношению к бетону на несульфатостойких видах цемента.

Магнезиальная агрессивность. Согласно табл. 7 приложения 17 содержание в воде ионов $Mg^{\cdot\cdot}$ не должно превышать для портландцемента 7000— [SO''_4] *мг/л*, т. е. 7000—1 460=5 540 *мг/л*, а для группы смешанных цементов 6 000 — [SO''_4], т. е. 6000—1460 =4540 *мг/л*.

Следовательно, данная вода, содержащая 271 *мг/л* ионов $Mg^{\cdot\cdot}$, не обладает магнезиальной агрессивностью по отношению к бетону на любом цементе.

Вывод. Данная вода при заданных размерах конструкций и условиях ее работы является агрессивной по отношению к плотному бетону на любом цементе за исключением сульфатостойкого портландцемента. Она обладает углекислой агрессивностью по отношению к бетону на пуццолановом, песчано-пуццолановом и шлаковом портландцементах и сульфатной агрессивностью по отношению к бетону на всех видах обычных (несульфатостойких) цементов. Следовательно, для обеспечения водостойкости бетона должен быть применен сульфатостойкий портландцемент.

б. Способы пропитки готовых элементов подземных конструкций различными материалами

Повышение водонепроницаемости обделки подземных сооружений с применением способов пропитки основано на введении в готовую конструкцию растворов и различных материалов.

К этим способам относятся:

— цементация и силикатизация конструкций;

— пропитка конструкции битумами и другими синтетическими материалами.

Цементация и силикатизация имеют своей целью устранить или уменьшить фильтрацию воды через бетон и трещины.

Цементацию назначают:

— при наличии трещин размером более 0,2 *мм;*

— при наличии пустот и повреждений в конструкции с удельным водопоглощением более 0,05 *л/мин.*

Силикатизация предназначается для заполнения трещин, швов и пор размером не более 0,5 *мм.* Наиболее целесообразно применять ее при порах размером до 0,2 *мм* и удельном водопоглощении в скважинах менее 0,1 *л/мин.*

Величина удельного водопоглощения, т. е. расхода воды в 1 *мин*, отнесенного к 1 *пог. м* и напору в 1 *м* и получаемого в результате опробования опытных скважин на водопоглощение, определяется по формуле:

$$n=\frac{Q}{hl},$$

где n—удельное водопоглощение, *л/мин*;
Q—расход воды, *л/мин*;
h—напор водяного столба, *м*;
l—глубина скважины, *м*.

Расположение, число и глубина скважин, через которые производится нагнетание, определяется проектом производства работ.

Скважины располагаются в шахматном порядке. Расстояния между ними назначаются в соответствии с радиусом действия инъекции, который определяется, как правило, опытным нагнетанием, и могут быть приняты, ориентировочно, при давлении нагнетания до 5 *ати:*

При цементации:

— для сильно водопроницаемых бетонов с фильтрацией типа «течь» и при удельном водопоглощении больше 5 *л/мин* — 1,0 ÷ 1,5 *м*;

— для слабоводопроницаемых бетонов с фильтрацией типа «капеж» (фильтрация в виде отдельных капель) и при удельном водопоглощении до 0,05 *л/мин* — 0,6 ÷ 1,0 *м*.

При силикатизации:

— для бетонов с фильтрацией типа «сырость» (отдельные сырые поверхности и небольшие влажные пятна) и при удельном водопоглощении до 0,05 *л/мин* — 0,6 ÷ 1,0 *м*;

— для бетонов с фильтрацией типа «капеж» и небольшими подтеками и при удельном водопоглощении 0,1—0,05 *л/мин* —0,8 ÷ 1,2 *м*.

В качестве основных материалов применяются:

При цементации:

— портландцемент (применяют добавки хлористого кальция в количестве не более 5% от веса сухого цемента);

— глиноземистый цемент (применяют при цементации бетона с открытой течью).

При силикатизации:

— жидкое стекло и хлористый кальций.

Цементно-водная суспензия применяется различной концентрации: от 10 до 200 частей цемента на 100 частей воды (по весу), что соответствует водо-цементному отношению от 10 (цементное молоко) до 0,5 (цементное тесто). Цементация начинается с нагнетания суспензии низкой концентрации с дальнейшим ее повышением.

Жидкое стекло, применяемое для силикатизации, должно иметь:

—модуль $\left(\frac{SiO_2}{Na_2O}\right)$**, равный 2,6÷2,8;**

—удельный вес 1,33÷1,38.

Применение для силикатизации жидкого стекла с удельным весом ниже 1,33 запрещается. Раствор хлористого кальция, применяемый для силикатизации, должен иметь удельный вес 1,22 ÷ 1,28.

Нагнетание растворов в обделку сооружения, как правило, производится через специально пробуренные скважины, оборудованные инъекторами. При цементации применяются инъекторы с обратной циркуляцией, т. е. с возвращением суспензии по обратной линии в бак, при силикатизации — инъекторы без циркуляции, т. е. с прямой подачей.

При производстве работ по инъектированию обделок сооружения применяются следующие растворонасосы:

— насосы типа «Вортингтон» производительностью до 14 *м³/час* и давлением до 12 *ати;*

— насосы типа «Е» производительностью до 2 *м³/час* и давлением до 30 *ати;*

— различные растворонасосы (системы Соколова — Соколовского и др.).

Цементация обделок начинается при давлении 1 *ати* с дальнейшим постепенным его повышением. Максимальное давление с учетом прочности обделки, расположения и числа скважин обычно находится в пределах 3—8 *ати* [4].

В практике подземного строительства наибольшее распространение получила цементация бетонных обделок. Нормы расхода материалов и оборудования, затраты труда на цементацию приведены в приложениях 10 и 11.

Метод пропитки бетона органическими вяжущими веществами нашел применение в практике строительства в начале XX века, когда начали применяться при строительстве портов сваи, пропитанные расплавленным битумом. Первые сваи, пропитанные битумом, отличались небольшой прочностью, а также имели и ряд других недостатков, значительно снижавших эффективность их применения в строительстве. Вопросами дальнейшего развития метода пропитки занимался ряд специалистов: инженер Никольсон (за границей), П. Д. Глебов, Н. А. Смирнов и другие в нашей стране. Несмотря на то, что в работах этих специалистов метод пропитки получил дальнейшее развитие, все же отсутствие до последнего времени теоретических и экспериментальных исследований, и особенно производственных испытаний важнейших свойств бетона и железобетона, пропитанного органическими веществами, являлось основной причиной недостаточного внедрения этого метода повышения водонепроницаемости конструкции в практику строительства.

Работами советских специалистов, и в первую очередь работников лаборатории гидроизоляции и дренажа сооружений ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева [26], [36], восполнен пробел в исследованиях всех важнейших строительных свойств пропитанного бетона, уточнены основные положения технологии пропитки и тем самым созданы условия для более широкого внедрения метода пропитки в практику строительства.

Для пропитки бетонных и железобетонных конструкций могут быть использованы черные вяжущие (природные, сланцеватые и неф-

тяные битумы, каменноугольные пеки и некоторые другие производные нефти и каменного угля) и синтетические смолы (стирол-мономер, метакрилаты). Однако в техническом, производственном и экономическом отношениях целям пропитки наиболее отвечают нефтяные битумы и материалы на базе синтетических смол.

На процесс пропитки большое влияние оказывает понижение вязкости материала, которым производится пропитка, что достигается нагревом битумов или разжижением материала летучими органическими жидкостями; следовательно, принципиально возможны два способа пропитки — горячая и холодная. Горячая пропитка в производственных условиях является более предпочтительной.

Пропитка может производиться как в открытых ваннах, где она происходит преимущественно под влиянием капиллярных сил, так и в автоклавах, в которых решающим фактором является внешнее давление. В последнем случае избыточное внешнее давление, не меняя сущности процесса пропитки, ускоряет ее.

Пропитка в открытых ваннах не требует дорогостоящего оборудования и поэтому легко может быть налажена на любой стройке. Но скорость пропитки в этом случае невелика, вследствие чего производительность пропиточной установки мала. Технологический процесс пропитки в открытых ваннах состоит из трех операций: сушки, пропитки и охлаждения. Предварительная сушка материалов, подлежащих пропитке, осуществляется с целью сокращения сроков и избежания в процессе пропитки усиленного пенообразования. Сам процесс пропитки осуществляется в открытых ваннах, заполненных пропиточным материалом с $t=170-190°$. Продолжительность пропитки в открытых ваннах зависит, как и при пропитке в автоклавах, от ряда факторов (влажность и пористость пропитываемого материала и т. д.) и составляет ориентировочно при глубине пропитки 15—40 *мм* 25—35 часов. Следует отметить, что скорость и глубина пропитки находятся в прямой зависимости, прежде всего, от пористости бетона.

Способ пропитки бетона в открытых ваннах для обычных плотных бетонов с эффективным диаметром капилляров от 1,7 до 14 микрон является менее эффективным по сравнению с пропиткой в автоклавах.

Пропитка бетонных конструкций в открытых ваннах может быть ускорена внутренним вакуумированием изделия, в результате чего скорость пропитки возрастает в 1,5—3 раза.

Автоклавный процесс пропитки с предварительным вакуумированием значительно ускоряет процесс пропитки (в несколько раз по сравнению с пропиткой в открытых ваннах) и позволяет осуществить пропитку на всю глубину изделия.

Процесс пропитки в автоклаве состоит из следующих операций:

— предварительного нагрева и сушки материала, подлежащего пропитке;

— сушки этого материала в автоклаве под вакуумом;

— пропитки;

— охлаждения.

Для автоклавного процесса пропитки необходимо иметь следующее основное оборудование:

— автоклав, рассчитанный на повышенное давление (до 15 *ати*) и снабженный подогревателем;

— компрессор;

— котлы для разогрева и выпарки битума;

— контрольно-измерительную аппаратуру.

Подъем и сброс температуры пропиточной массы производится как при пропитке в открытой ванне, так и при пропитке в автоклавах с определенной скоростью.

Продолжительность и некоторые особенности технологического процесса пропитки характеризуются следующими данными [17]:

	Для больших изделий типа свай	Для мелких изделий типа плит небольшой толщины
Глубина пропитки, *мм*	15—40	10—20
Пропитка в открытых ваннах:		
сушка, *час*	15—30	10—20
пропитка, *час*	25—35	10—25
подъем и сброс температуры, °С, *час*	25	35
Пропитка в автоклавах:		
сушка в сушилке, *час*	15—20	7—12
„ в автоклаве, *час*	3—4	1—2
пропитка, *час*	10—20	3—10
подъем и сброс температуры, °С в *час*	25	35
подъем и сброс давления, *ати* в *час*	3—4	5

Бетон, пропитанный нефтяными битумами, обладает следующими основными свойствами (по сравнению с непропитанным):

— повышенной прочностью (прочность на сжатие возрастает на 10—25%, на растяжение при изгибе — на 10—30%);

— высокими динамическими показателями, что имеет особое значение для подземного фортификационного строительства (сопротивление динамическим нагрузкам возрастает не менее чем в 2,5 раза);

— пониженным водопоглощением;

— практической водонепроницаемостью (пропитанные бетоны, как правило, водонепроницаемы при давлении в 10 *ати*);

— нормальной или повышенной стойкостью к воздействию агрессивных вод (хорошая стойкость в сульфатной и морской воде);

— меньшей величиной сцепления с арматурой, которая, однако, во многих случаях является вполне приемлемой с учетом норм на проектирование железобетонных конструкций (при поверхностной пропитке и расположении арматуры в зоне непропитанного бетона показатель сцепления с арматурой не играет роли).

Инженер Г. А. Туркестанов предложил несколько другой способ пропитки бетонных и железобетонных конструкций. В качестве пропиточной массы он рекомендует применять синтетические полимеризирующие смолы, в частности, стирол-мономер. Стирол-мономер, обладая незначительной вязкостью (меньшей, чем у воды), легко проникает в бетон и превращается в нем в твердую смолу в результате кратковременного подогрева пропитываемого слоя до температуры 60—80°. Пропитанный таким образом бетон полностью перестает поглощать и фильтровать воду.

Принципиальная схема пропитки изделия при помощи стирол-мономера состоит из трех фаз: сначала зону бетонного или железобетонного изделия, подлежащую пропитке, высушивают для освобождения капилляров от воды, затем высушенный бетон насыщают стирол-мономером до заполнения его сети капилляров, после чего бетон прогревают при температуре 60—80°, отчего жидкость полимеризуется, превращаясь в твердую смолу.

Пропитка изделий стирол-мономером может быть осуществлена как показали лабораторные исследования Г. А. Туркестанова, на принципе термодиффузии, сущность которого заключается в следующем. Если нагревать лицевую сторону изделия, оставляя холодной тыльную, то под влиянием создавшегося перепада температур и теплового потока находящаяся в капиллярах вода перемещается от нагретой поверхности в сторону холодной так интенсивно, что в короткий промежуток времени (3—5 часов) подлежащий пропитке поверхностный слой бетона просушивается совершенно. При помощи того же эффекта перемещения жидкостей в капиллярах под влиянием теплового потока осуществляется насыщение поверхностного слоя стирол-мономером. С этой целью на нагретую поверхность бетона после достаточной ее просушки, в порядке продолжения процесса через специальные дозаторы и трубопроводы подается стирол-мономер. Попав на поверхность бетона и растекаясь по ней, стирол-мономер под влиянием теплового потока и сил капиллярного всасывания начинает перемещаться от нагретой поверхности в более холодную внутреннюю зону бетона. Через некоторый промежуток времени поверхностный слой бетона оказывается насыщенным стирол-мономером. После этого односторонний нагрев заменяется равномерным прогревом всей конструкции, при котором происходит превращение стирол-мономера в твердую смолу.

По данным Г. А. Туркестанова [40] стоимость пропитки 1 *м*² поверхности на глубину 3 *см* составляет 15—20 руб. Метод пропитки, предложенный Г. А. Туркестановым, несмотря на отдельные недостатки (повышенные требования по технике безопасности, необходимость в тщательном контроле полноты полимеризации стирол-мономера), после окончательной отработки технологического процесса и проверки в производственных условиях представляет значительный практический интерес, так как позволяет получать конструкции с высокой степенью водонепроницаемости.

Следует отметить, что в настоящее время метод пропитки испытывают в производственных условиях на строительстве Московского метрополитена.

Способы повышения водонепроницаемости материала подземных конструкций, основанные на улучшении технологии изготовления бетона (вибрирование, вакуумирование, введение различных добавок и т. д.) в настоящей работе не рассматриваются.

Следует отметить, что все эти способы на современном уровне их практической реализации не исключают во всех случаях при воздействии на подземные сооружения напорных вод необходимость устройства дополнительных гидроизоляционных конструкций.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ СССР ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЙОНАМ, ДЛЯ КОТОРЫХ РАЗРАБОТАНЫ ЕДИНЫЕ РАЙОННЫЕ ЕДИНИЧНЫЕ РАСЦЕНКИ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ [12]

Номера районов	Наименование областей, краев, республик, входящих в состав района
1	Брянская, Великолукская, Владимирская, Калининская, Калужская, Московская, Рязанская, Смоленская, Тульская области.
2	Калининградская, Ленинградская, Новгородская, Псковская области, Латвийская ССР, Литовская ССР, Эстонская ССР.
3	Белорусская ССР.
4	Молдавская ССР, Украинская ССР (без Крымской области).
5	Архангельская (южнее Полярного круга), Вологодская, Мурманская области, Карельская АССР (южнее Полярного круга), Коми АССР (южнее Полярного круга).
6	Арзамасская, Горьковская, Ивановская, Кировская, Костромская, Ярославская области, Марийская АССР, Мордовская АССР, Татарская АССР, Удмуртская АССР и Чувашская АССР.
7	Белгородская, Воронежская, Курская, Липецкая, Орловская, Пензенская, Тамбовская области.
8	Астраханская, Балашовская, Куйбышевская, Саратовская, Сталинградская, Ульяновская области.
9	Грозненская, Каменская, Крымская, Ростовская области, Дагестанская АССР, Кабардинская АССР, Северо-Осетинская АССР, Краснодарский и Ставропольский края.
10	Азербайджанская ССР, Армянская ССР, Грузинская ССР.
11	Пермская, Свердловская области.
12	Курганская, Челябинская, Оренбургская области, Башкирская АССР.
13	Актюбинская, Гурьевская, Западно-Казахстанская области.
14	Акмолинская, Карагандинская, Кокчетавская, Кустанайская, Северо-Казахстанская области.
15	Алма-Атинская, Восточно-Казахстанская, Павлодарская, Семипалатинская, Талды-Курганская области.
16	Джамбульская, Кзыл-Ординская, Южно-Казахстанская области.
17	Киргизская ССР, Таджикская ССР, Туркменская ССР, Узбекская ССР.
18	Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская (южнее 60-й параллели), Тюменская (южнее 60-й параллели) области.
19	Иркутская область (южнее 60-й параллели), Бурятская АССР, Красноярский край (южнее 60-й параллели), Тувинская автономная область.
20	Амурская область, Приморский край, Хабаровский край (южнее 55-й параллели и без Камчатки), Читинская область.

НОРМЫ ЗАТРАТ НА УСТРОЙСТВО ТОРКРЕТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ С БЕТОННОЙ ОБДЕЛКОЙ [5]

Нормы на измерители, указанные в таблице

Наименование элементов затрат	Торкретирование слоем 20 *мм*		Добавляется или исключается при изменении толщины слоя на 10 *мм*	Заделка фильтрующих воду мест в обделке		Уход за торкретной штукатуркой, 1 000 $м^2$
	с установкой металлической сетки, 100 $м^2$	без сетки, 100 $м^2$		трещин, 100 *м*	каверн, 100 мест	
Затраты труда, чел.-дн.	18,5	8,4	1,7	27,5	33,5	0,26
Разряд работы	4,6	4	3,6	5,6	5,4	3
Молотки отбойные, маш-смены	1,85	1,85	—	—	0,62	—
Тележки чеканочные, маш.-смены	12,1	2,75	0,171	—	—	—
Цемент-пушки, маш-смены	0,54	0,54	0,171	—	—	—
Прочие машины, %	12	25	45	2	1	—
Каркас готовый из круглой стали, *т*	0,44	—	—	—	—	—
Поковки строительные, *кг*	134	—	—	—	—	—
Песок, $м^3$	4,05	4,05	0,86	—	—	—
Цемент расширяющийся, *т*	1,36	1,36	0,68	0,158	0,53	—
Прочие материалы, %	1	1	1	1	1	—

СТОИМОСТЬ УСТРОЙСТВА ТОРКРЕТНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЙОНАМ СССР [6]

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная зараб. плата
Торкретирование бетонной обделки слоем в 20 *мм* с установкой металлической сетки (ЕРЕР № 20—384)	1—4,7	30,0	22,2	2,3	5,5
	5, 6, 8, 9	30,7	22,9	2,3	5,5
	10, 13	31,4	23,6	2,3	5,5
	11, 12	31,5	23,1	2,3	6,1
	14, 18	32,4	24,0	2,3	6,1
	15—17	32,5	24,7	2,3	5,5
	19	34,4	25,4	2,4	6,6
	20	37,6	27,4	2,5	7,7
Торкретирование бетонной обделки слоем в 20 *мм* без сетки (ЕРЕР № 20—385)	1, 2, 4	17,1	13,06	1,79	2,25
	3, 6, 8	17,5	13,46	1,79	2,25
	5, 9	18,0	13,96	1,79	2,25
	10, 13	18,4	14,36	1,79	2,25
	11, 12	18,3	14,0	1,82	2,48
	14, 18	19,1	14,8	1,82	2,48
	15, 17	19,7	15,66	1,79	2,25
	16	19,1	15,06	1,79	2,25
	19	20,5	15,94	1,86	2,7
	20	23,0	17,9	1,95	3,15
Изменение стоимости на торкретирование бетонной обделки при изменении толщины слоя на 10 *мм* (ЕРЕР № 20—386)	1, 2, 4, 7	7,3	6,51	0,36	0,43
	3, 5, 6, 8, 9	7,6	6,81	0,36	0,43
	10	8,0	7,21	0,36	0,43
	11, 12	7,8	6,96	0,37	0,47
	13	7,8	7,01	0,36	0,43
	14, 18	8,2	7,36	0,37	0,47
	15—17	8,4	7,61	0,36	0,43
	19	8,8	7,9	0,38	0,52
	20	9,9	8,9	0,40	0,6
Заделка трещин, фильтрующих воду, в бетонной обделке (ЕРЕР № 20—387)	1—10, 13	11,5	1,5	0,2	9,8
	11, 12, 14, 18	12,6	1,6	0,2	10,8
	15—17	11,8	1,8	0,2	9,8
	19	13,8	1,8	0,2	11,8
	20	16,0	2,1	0,2	13,7
Заделка каверн, фильтрующих воду, в бетонной обделке (ЕРЕР № 20—388)	1, 2, 4, 7 3, 5, 6, 8	16,7	5,0	0,2	11,5
	9—13	17,0	5,3	0,2	11,5
	10	17,3	5,6	0,2	11,5
	11, 12	18,2	5,3	0,2	12,7
	14, 18	18,6	5,7	0,2	12,7
	15—17	17,6	5,9	0,2	11,5
	19	20,2	6,2	0,2	13,8
	20	23,2	6,9	0,2	16,1

Примечание. В качестве измерителей приняты: 1 $м^2$ торкретируемой поверхности, 1 *м* трещин и 1 место нахождения каверны.

НОРМЫ ЗАТРАТ НА УСТРОЙСТВО ОКЛЕЕЧНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ (БЕЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РУБАШКИ) [5]

Нормы на 100 $м^2$ изолируемой поверхности

Наименование элементов затрат	Гидроизол			Металлоизол	
	в 4 слоя		при меньшем количестве слоев нормы на каждый слой уменьшать на	в 2 слоя[1]	
	в тоннелях	в стволах шахт		в тоннелях	в стволах шахт
Затраты труда чел.-дн. .	33,5	27,5	3,5	29,5	23
Разряд работы . . .	4,4	4,2	4,4	4,2	4,4
Котлы битумные на 1000 *л*, маш.-смены .	1,35	1,4	0,3	0,93	0,93
Электротермосы для битума, маш.-смены . .	5,9	3,5	1,15	5,3	3,95
Прочие машины, % . .	9	6	1	10	5
Цемент «200», *т* . . .	1,65	1,65	—	1,27	1,17
Песок, $м^3$	3,85	3,85	—	3,0	2,75
Гидроизол, $м^2$ . . .	560	560	140	—	—
Металлоизол, $м^2$ . .	—	—	—	330	330
Битум нефтяной БН-III, *т*	1,8	1,8	0,45	1,19	1,19
Прочие материалы, % .	1	1	—	11	11
Транспортировка грунта, $м^3$	4,5	—	—	4,5	—
Транспортировка грунта, *т*	9	—	—	9	—

[1] Нормы расхода металлоизола даны при ширине металлоизола 600 *мм*. При ширине 440 *мм* к нормам расхода металлоизола следует применять коэффициент 1,21.

НОРМЫ ЗАТРАТ НА УСТРОЙСТВО ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РУБАШКИ [5]

Нормы на 100 *м*³ бетона в деле

Наименование элементов затрат	В тоннелях, при толщине рубашки, *см*		В стволах шахт, независимо от толщины рубашки
	до 30	более 30	
Затраты труда, чел.-дн. . .	230	170	380
Разряд работы	5	4,4	4,2
Бетон, *м*³	101,5	101,5	101,5
Арматура, *т*	10,2	12	17,1
Сегменты кружал в 3 доски, *м*	80/(101)	33/(41)	—
Сегменты кружал и лекал в 2 доски, *м*	26/(33)	19/(24)	147/(197)
Бревна строительные III с. до 240 *мм, м*³	2,9/(3,4)	3,55/(4,45)	5,8/(7,4)
Брусья строительные IV с. 110—240 *мм, м*³	0,88/(1,21)	—	3,8/(5,3)
Доски IV с. 40—70 *мм, м*³ .	11,7/(15,9)	6,8/(9,0)	26,5/(34,0)
Прочие материалы, % . . .	6	2	2

СТОИМОСТЬ УСТРОЙСТВА ОКЛЕЕЧНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ РУБАШКИ В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЙОНАМ СССР [6]

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основ. зараб. плата
Устройство оклеечной гидроизоляции в тоннелях гидроизолом в 4 слоя (ЕРЕР № 20—376)	1, 2, 5	29,1	18,3	1,1	9,7
	3, 16	29,8	18,6	1,5	9,7
	4, 8, 10	27,9	17,1	1,1	9,7
	6, 7, 9, 13	28,6	17,8	1,1	9,7
	11, 12	29,9	18,1	1,1	10,7
	14	30,5	18,3	1,5	10,7
	15	30,6	19,4	1,5	9,7
	17	31,7	20,6	1,4	9,7
	18	32,3	20,6	1,0	10,7
	19	35,1	22,4	1,1	11,6
	20	39,1	24,2	1,3	13,6
Устройство оклеечной гидроизоляции в стволах шахт гидроизолом в 4 слоя (ЕРЕР № 20—377)	1, 2, 5	26,9	18,3	0,9	7,7
	3, 16	27,5	18,6	1,2	7,7
	4, 8, 10	25,7	17,1	0,9	7,7
	6, 7, 9, 13	26,4	17,7	1,0	7,7
	11, 12	27,5	18,2	0,9	8,4
	14	28,1	18,3	1,4	8,4
	15	28,5	19,5	1,3	7,7
	17	29,5	20,5	1,3	7,7
	18	29,9	20,6	0,9	8,4
	19	32,5	22,5	0,8	9,2
	20	36,1	24,3	1,0	10,8
Снижение стоимости при уменьшении оклеечной гидроизоляции на 1 слой гидроизола (ЕРЕР № 20—378)	1, 2, 5, 6, 16	5,17	3,94	0,22	1,01
	3, 15	5,4	4,1	0,29	1,01
	4, 8, 10	4,91	3,68	0,22	1,01
	7, 9, 13	5,02	3,78	0,23	1,01
	11, 12, 14	5,25	3,91	0,23	1,11
	17	5,77	4,48	0,28	1,01
	18	5,75	4,44	0,20	1,11
	19	6,30	4,88	0,20	1,22
	20	7,0	5,34	0,25	1,41
Устройство оклеечной гидроизоляции в тоннелях металлоизолом в 2 слоя при ширине металлоизола 600 *мм* (ЕРЕР № 20—379)	1, 4, 6—8, 10	47,4	38,4	0,8	8,2
	2, 3, 5, 9, 13	48,4	39,3	0,9	8,2
	11, 12, 14	49,6	39,7	0,9	9,0
	15, 16, 17	49,8	40,5	1,1	8,2
	18	51,4	41,6	0,8	9,0
	19	53,8	43,1	0,8	9,9
	20	57,2	44,7	1,0	11,5

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основ. зараб. плата
Устройство оклеечной гидроизоляции в стволах шахт металлоизолом в 2 слоя при ширине металлоизола 600 *мм* (ЕРЕР № 20—380)	1, 4, 7, 8, 10	45,6	38,3	0,7	6,6
	2, 3, 5, 6, 9, 13	46,5	39,1	0,8	6,6
	11, 12	47,2	39,3	0,6	7,3
	14, 18	48,8	40,6	0,9	7,3
	15, 17	49,2	41,6	1,0	6,6
	16	47,5	40	0,9	6,6
	19	51,6	42,9	0,7	8,0
	20	54,6	44,6	0,8	9,2
Устройство в тоннелях железобетонных гидроизоляционных рубашек толщиной до 30 *см* (ЕРЕР № 20—271)	1—3, 6—8, 16	376	298	4	74
	4, 5, 9, 10, 17	386	308	4	74
	11, 18	364	279	4	81
	12, 14	377	292	4	81
	13, 15	364	286	4	74
	19	379	287	4	88
	20	454	345	5	104
Устройство в тоннелях железобетонных гидроизоляционных рубашек толщиной более 30 *см* (ЕРЕР № 20—272)	1, 2, 6, 7, 16	339	286,7	3,1	49,2
	3, 4, 8—10, 17	345	292,7	3,1	49,2
	5	350	297,7	3,1	49,2
	11, 18	328	270,6	3,3	54,1
	12, 14	337	279,6	3,3	54,1
	13, 15	327	274,7	3,1	49,2
	19	341	278,6	3,4	59
	20	409	336,1	3,9	69
Устройство в стволах шахт железобетонных гидроизоляционных рубашек (ЕРЕР № 20—273)	1, 2, 6, 13, 15	486	378	2	106
	3, 4, 5, 7, 8	500	392	2	106
	9, 10, 16,	510	402	2	106
	11	473	355	2	116
	12	499	381	2	116
	14	510	392	2	116
	17	527	419	2	106
	18	486	368	2	116
	19	500	371	2	127
	20	587	437	2	148

Примечания:

1. В качестве измерителей приняты: 1 $м^2$ изолируемой поверхности и 1 $м^3$ бетона в деле.

2. При устройстве в тоннелях и стволах шахт оклеечной гидроизоляции в 2 слоя металлоизола шириной 440 *мм* к общей стоимости следует применять соответственно коэффициенты 1,12 и 1,13.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

НОРМЫ ЗАТРАТ НА ЧЕКАНКУ ШВОВ ТЮБИНГОВОЙ ОБДЕЛКИ [5]

Нормы на 100 *м* шва

Наименование элементов затрат	Первичная чеканка расширяющимся цементом				Первичная чеканка освинцованным шнуром				Повторная чеканка	
	тоннелей		стволов шахт	наклонных ходов	тоннелей		стволов шахт	наклонных ходов	расширяющимся цементом	освинцованным шнуром
	перегонных[1]	станционных[2]			перегонных[1]	станционных[2]				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Затраты труда, чел.-дни	30	34	23	34	33	37	26	37	9,5	13
Разряд работы	4,2	4,2	4,2	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	5,2	5,6
Аппараты пескоструйные, маш.-смены	0,35	0,35	0,4	0,4	0,35	0,35	0,4	0,4	0,56	0,56
Молотки чеканочные, маш.-смены	1,55	1,55	1,55	1,9	2,5	2,5	2,85	1,9	2,25	5,1
Молотки отбойные, маш.-смены	1,2	1,3	—	1,7	1,2	1,3	—	1,7	—	—
Тележки чеканочные, маш.-смены	5,5	10,5	—	—	4,75	10,5	—	—	—	—
Прочие машины, %	50	25	90	60	50	25	75	65	16	10
Цемент расширяющийся водонепроницаемый, *т*	0,2	0,26	0,2	0,23	—	—	—	—	0,2	—
Цемент «300», *т*	—	—	—	—	0,25	0,25	0,25	0,25	—	0,25

Песок, $м^3$	2,2	2,1	2,2	2,1	2,25	2,1	2,25	2,1	2,2	2,2
Бревна строительные III с. до 240 *мм*, $м^3$	—	—	—	$\frac{0,11}{(0,12)}$	—	—	—	$\frac{0,11}{(0,12)}$	—	—
Доски IV с. 40—70 *мм*, $м^3$ . .	—	—	$\frac{0,51}{(0,65)}$	$\frac{0,15}{(0,2)}$	—	—	$\frac{0,51}{(0,65)}$	$\frac{0,15}{(0,2)}$	—	—
Шнур освинцованный, *м* . .	—	—	—	—	110	110	110	110	—	10,2
Шайбы гидроизоляционные, *шт*.	750	630	750	840	750	630	750	840	—	—
Прочие материалы, % . .	27	30	20	31	20	20	17	30	12	7
Амортизация инвентарных лесов, %	—	—	—	—	—	—	—	—	34	30
Транспортировка грунта, $м^3$.	10,5	12,5	2,4	3	10,5	12,5	2,4	3	—	—
Транспортировка грунта, *т* .	21	25	4,9	6	21	25	4,9	6	—	—

Примечания.

1. При чеканке швов тюбинговых колец, соединенных болтами со сферическими шайбами, к нормам граф 2, 3, 4, 6, 7, 8 следует применять коэффициент 0,7.

2. Стоимость амортизации лесов следует определять в процентах от стоимости основных материалов.

3. При применении пневматических сбалчивателей к нормам затрат труда по графам 2, 4, 6, 8 следует применять коэффициент 0,95.

---

[1] Здесь и в дальнейшем под перегонным тоннелем имеется в виду сооружение диаметром до 6,5 *м*.

[2] Здесь и в дальнейшем под станционным тоннелем имеется в виду сооружение диаметром свыше 6,5 *м*.

СТОИМОСТЬ РАБОТ ПО ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ТЮБИНГОВОЙ ОБДЕЛКИ ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЙОНАМ СССР [6]

Измеритель — 1 *м* шва

Характер работ	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная зараб. плата
Первичная чеканка расширяющимся цементом швов тюбингов в перегонных тоннелях (ЕРЕР № 20—389)	1—9	13,9	4,1	1,4	8,4
	10, 13 15—17,	14,2	4,4	1,4	8,4
	11, 12, 14, 18,	14,9	4,3	1,4	9,2
	19	16,1	4,6	1,5	10,0
	20	18,3	4,9	1,6	11,8
То же в станционных тоннелях (ЕРЕР № 20—390)	1—4, 6—8	17,8	4,8	3,5	9,5
	5, 9, 10, 13	18,1	5,1	3,5	9,5
	11, 12, 14, 18	19,1	5,1	3,6	10,4
	15—17	18,4	5,4	3,5	9,5
	19	20,6	5,5	3,7	11,4
	20	23,2	5,9	4,0	13,3
То же в стволах шахт (ЕРЕР № 20—391)	1—8	11,7	4,8	0,5	6,4
	9, 10, 13, 15	12,1	5,2	0,5	6,4
	11, 18	12,4	4,8	0,5	7,1
	12, 14	12,7	5,1	0,5	7,1
	16	12,5	5,6	0,5	6,4
	17	12,8	5,9	0,5	6,4
	19	13,3	5,1	0,5	7,7
	20	15,1	5,5	0,6	9,0
То же в наклонных ходах (ЕРЕР № 20—392)	1—8	16,5	5,5	1,2	9,8
	9, 13	16,8	5,8	1,2	9,8
	10, 15, 16	17,1	6,1	1,2	9,8
	11, 12, 18	17,7	5,6	1,3	10,8
	14	18	5,9	1,3	10,8
	17	17,4	6,4	1,2	9,8
	19	19,0	5,9	1,3	11,8
	20	21,5	6,5	1,3	13,7
Повторная чеканка швов тюбинговой обделки расширяющимся цементом (ЕРЕР № 20—393)	1—9	6,6	3	0,44	3,16
	10, 13	6,8	3,2	0,44	3,16
	11, 12, 14, 18	7,1	3,18	0,45	3,47
	15—17	7,1	3,50	0,44	3,16
	19	7,8	3,56	0,45	3,79
	20	8,9	4,01	0,47	4,42

Примечания.

1. При чеканке швов тюбинговых колец, соединенных болтами со сферическими шайбами (перегонные и станционные тоннели и стволы шахт) к общей стоимости следует применять коэффициент 0,7.

2. При применении пневматических сбалчивателей к основной заработной плате следует применять коэффициент 0,95.

ВЫБОР РАСТВОРА И ВЕЛИЧИНЫ ДАВЛЕНИЯ НАГНЕТАНИЯ ЗА ОБДЕЛКУ

Характер пород	Стадии нагнетания и вид обделки	Состав растворов	Наименование добавки	Проценты введения добавки	Растекание раствора, *см*		Максимальное давление нагнетания
					начальное	конечное	
При нагнетании без притока воды к обделке (без первичного нагнетания гравия)							
Устойчивые	Первичное:						
	сборная	1:5	Термополимер	0,3	18—20	15—16	5
	»	1:5	Мылонафт	0,1	18—20	15—16	5
	монолитная	1:5	То же	0,1	18—20	15—16	5
	Повторное:						
	сборная	1:5	Термополимер	0,3	16—17	15—16	7
	»	1:5	Мылонафт	0,1	16—17	15—16	7
	монолитная	1:0	То же	0,1	16—17	15—16	6
Неустойчивые	Первичное:						
	сборная	1:3	Термополимер	0,3	18—20	15—16	6
	»	1:3	Хлористый кальций	2	18—20	15—16	6
	монолитная	1:3	То же	2	18—20	15—16	6
	Повторное:						
	сборная	1:3	Термополимер	0,3	18—20	15—16	7
	»	1:3	Хлористый кальций	2	18—20	15—16	7
	монолитная	1:0	То же	2	16—17	15—16	7

Характер пород	Стадии нагнетания и вид обделки	Состав растворов	Наименование добавки	Проценты введения добавки	Растекание раствора, *см* начальное	Растекание раствора, *см* конечное	Максимальное давление нагнетания
При нагнетании с притоком воды (без первичного нагнетания гравия)							
Устойчивые	Первичное:						
	сборная	1:3	Алюминат натрия	3	18—20	15—16	6
	»	1:3	Бентонитовая глина	3	18—20	15—16	6
	монолитная	1:3	То же	3	18—20	15—16	6
	Повторное:						
	сборная	1:2	Алюминат натрия	3	18—20	15—16	7
	»	1:2	Бентонитовая глина	3	18—20	15—16	7
	монолитная	1:0	То же	3	18—20	15—16	7
Неустойчивые	Первичное:						
	сборная	1:3	Хлористый кальций	2	18—20	15—16	6
	»	1:3	Алюминат натрия	3	18—20	15—16	6
	монолитная	1:2	То же	3	18—20	15—16	6
	Повторное:						
	сборная	1:3	Хлористый кальций	2	18—20	15—16	7
	»	1:3	Алюминат натрия	3	18—20	15—16	7
	монолитная	1:3	То же	3	26—30	14—15	7
При первичном нагнетании за обделку гравия							
Устойчивые	Повторное	1:0	Сульфитно-спиртовая барда	0,25	26—30	14—15	6
	Контрольное	1:0	Мылонафт	0,1	26—30	14—15	10
Неустойчивые	Повторное	1:0	Сульфитно-спиртовая барда	0,25	18—20	15—16	8
	Контрольное	1:0	Мылонафт	0,1	26—30	14—15	10

Примечания.

1. Содержание сульфитно-спиртовой барды дано в пересчете на сухое вещество, а мылонафта — в расчете на жидкий концентрат.

2. Первичное нагнетание гравия за обделку производится при давлении не свыше 2—3 *атм*.

НОРМЫ ЗАТРАТ ПО НАГНЕТАНИЮ ЗА ОБДЕЛКУ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ [5]

Таблица 1

Нагнетание гравия за сборную обделку тоннелей

Нормы на 100 $м^2$ наружной поверхности обделки

Наименование элементов затрат	Тюбинговая обделка				Бетонная обделка	
	пере-гон	стан-ция	пере-гон	стан-ция	пере-гон	стан-ция
	категория грунтов и пород					
	I—III		IV—XI		I—III	IV—XI
1	2	3	4	5	6	7
Затраты труда, чел.-дн. . . .	3,6	4,5	4,9	5,6	3,75	4,75
Разряд работы	3,8	3,8	3,8	3,8	4	3,8
Гравиенагнетатели, маш.-смены	0,7	0,86	0,96	1,05	0,74	0,93
Прочие машины, %	20	20	20	20	20	20
Гравий, $м^3$	7,6	9,6	10,3	12	8	10

Таблица 2

Нагнетание раствора за тюбинговую обделку

Нормы на 100 $м^2$ наружной поверхности обделки

Наименование элементов затрат	Тоннели, сооружаемые щитами								Эскалаторные тоннели
	при предварительном нагнетании гравия				без предварительного нагнетания гравия				
	пе-ре-гон	стан-ция	пе-ре-гон	стан-ция	пе-ре-гон	стан-ция	пе-ре-гон	стан-ция	
	категория грунтов и пород								
	I—III		IV—XI		I—III		IV-XI		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Затраты труда, чел.-дн. .	7,4	9	11	13	11	13	15,5	18	5,9
Разряд работы	4,2	4,2	4,2	4,2	4	4	4,2	4,2	4

Наименование элементов затрат	Тоннели, сооружаемые щитами								Эскалаторные тоннели
	при предварительном нагнетании гравия				без предварительного нагнетания гравия				
	перегон	станция	перегон	станция	перегон	станция	перегон	станция	
	категория грунтов и пород								
	I—III		IV—XI		I—III		IV—XI		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Растворонагнетатели, маш.-смены	1,4	1,7	2,0	2,3	2,1	2,5	3	3,2	1
Прочие машины, % . . .	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Раствор цементный 1:1, $м^3$	9	11,1	12,8	14,7	—	—	—	—	—
То же 1:3, $м^3$	—	—	—	-	13,6	16,2	19,1	22	6,4
Пакля смоляная, *кг*	10,7	17,9	10,7	17,9	10,7	17,9	10,7	17,9	0,5
Прочие материалы, % . .	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Пояснительная таблица к табл. 1 и 2

Наименование работ	Таблица	Графы	Коэффициенты
Нагнетание гравия и раствора за тюбинговую обделку горизонтального нестанционного тоннеля, сооружаемого горным способом в грунтах I—III категорий . . .	1 2	2 2,6	0,6
То же IV—XI категорий	1 2	4 4,8	0,78
Нагнетание раствора и гравия за тюбинговую обделку станционного тоннеля, сооружаемого горным способом работ в грунтах I—III категорий	1 2	3 3,7	0,51
То же IV—XI категорий	1 2	5 5,9	0,73

Примечание. Нормы, приведенные в табл. 1, 2, предусматривают щитовую проходку. При нагнетании гравия и раствора за обделку сооружений, проходимых другими способами, к нормам следует применить коэффициенты согласно «Пояснительной таблице».

Таблица 3

Нагнетание раствора за сборную бетонную обделку

Нормы на 100 $м^2$ наружной поверхности обделки

Наименование элементов затрат	При предварительном нагнетании гравия		Без предварительного нагнетания гравия	
	Категория грунтов и пород			
	I—III	IV—XI	I—III	IV—XI
Затраты труда, чел.-дни	8	11,5	11,5	15,5
Разряд работы	4,2	4,2	4	4,2
Растворонагнетатели для тоннельных работ, маш.-смены	1,5	1,95	2,2	2,9
Прочие машины, %	7	7	7	7
Раствор цементный 1 : 1, $м^3$	9,6	12,6	—	—
То же 1 : 3, $м^3$	—	—	14,5	18,5
Пакля смоляная, *кг*	55	55	55	55
Прочие материалы, %	1	1	1	1

Таблица 4

Нагнетание при монолитной обделке и контрольное нагнетание за сборную обделку

Нормы на 100 $м^2$ наружной поверхности обделки

Наименование элементов затрат	Нагнетание при монолитной обделке		Контрольное нагнетание за сборную обделку цементного раствора
	цементного молока в обделку	цементного раствора за обделку	
Затраты труда, чел.-дни	43	18	4,25
Разряд работы	4,8	4,2	3,8
Растворонасосы 6 $м^3$/*час*; маш.-смены	1,35	—	0,4
Растворонагнетатели для тоннельных работ, маш.-смены	—	5,3	—
Молотки бурильные легкие, маш.-смены	6,6	—	—
Прочие машины, %	15	4	13
Раствор цементный 1 : 3, $м^3$	—	17,5	—
Цемент «250», *т*	6,1	—	3,2
Трубы водо-газопроводные 50 *мм*, в *м*	120	—	—
Прочие материалы, %	2	—	—

СТОИМОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО НАГНЕТАНИЮ РАСТВОРОВ ЗА ОБДЕЛКУ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЙОНАМ СССР [6]

Измеритель — 1 *м*² наружной поверхности

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Нагнетание гравия за сборную тюбинговую обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—348)	1, 6, 10	2,3	1,16	0,2	0,94
	2, 7—9, 15	2,23	1,09	0,20	0,94
	3, 13	2,4	1,26	0,2	0,94
	4	2,73	1,59	0,2	0,94
	5	2,91	1,77	0,2	0,94
	11, 12, 18	2,33	1,1	0,2	1,03
	14	2,46	1,23	0,2	1,03
	16	2,06	0,92	0,2	0,94
	17	1,6	0,46	0,2	0,94
	19	2,51	1,18	0,2	1,13
	20	2,81	1,28	0,21	1,32
То же, в породах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—349)	1, 6, 10	3,12	1,57	0,27	1,23
	2, 7—9, 15	3,05	1,5	0,27	1,28
	3, 13	3,24	1,69	0,27	1,28
	4	3,71	2,16	0,27	1,28
	5	3,95	2,4	0,27	1,28
	11, 12, 18	3,16	1,48	0,28	1,4
	14	3,34	1,66	0,28	1,4
	16	2,81	1,26	0,27	1,28
	17	2,18	0,63	0,27	1,28
	19	3,41	1,6	0,28	1,53
	20	3,82	1,74	0,29	1,79
Нагнетание гравия за сборную тюбинговую обделку станционного тоннеля, сооружаемого щитом, в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—350)	1, 6, 10	2,88	1,47	0,24	1,17
	2, 7—9, 15	2,79	1,38	0,24	1,17
	3, 13	3,01	1,6	0,24	1,17
	4	3,43	2,02	0,24	1,17
	5	3,66	2,25	0,24	1,17
	11, 12, 18	2,92	1,38	0,25	1,29
	14	3,08	1,54	0,25	1,29
	16	2,59	1,18	0,24	1,17
	17	2,01	0,6	0,24	1,17
	19	3,15	1,49	0,25	1,41
	20	3,52	1,62	0,26	1,64

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Нагнетание гравия за сборную тюбинговую обделку станционного тоннеля, сооружаемого щитом, в породах IV — XI категорий (ЕРЕР № 20—351)	1, 6, 10	3,59	1,83	0,3	1,46
	2, 15	3,47	1,71	0,3	1,46
	3, 13	3,75	1,99	0,3	1,46
	4	4,27	2,51	0,3	1,46
	5	4,56	2,8	0,3	1,46
	7—9	3,48	1,72	0,3	1,46
	11, 12, 18	3,63	1,72	0,3	1,61
	14	3,84	1,93	0,3	1,61
	16	3,22	1,46	0,3	1,46
	17	2,49	0,73	0,3	1,46
	19	3,92	1,86	0,31	1,75
	20	4,38	2,02	0,32	2,04
Нагнетание гравия за сборную бетонную обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—352)	1, 6, 10	2,44	1,22	0,21	1,01
	2, 7—9, 15	2,36	1,14	0,21	1,01
	3, 13	2,54	1,32	0,21	1,01
	4	2,89	1,67	0,21	1,01
	5	3,08	1,86	0,21	1,01
	11, 12, 18	2,46	1,14	0,21	1,11
	14	2,61	1,29	0,21	1,11
	16	2,19	0,97	0,21	1,01
	17	1,71	0,49	0,21	1,01
	19	2,67	1,24	0,22	1,21
	20	2,98	1,35	0,22	1,41
Нагнетание гравия за сборную бетонную обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, в породах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—353)	1, 6, 10	3,02	1,52	0,26	1,24
	2, 7—9, 15	2,93	1,43	0,26	1,24
	3, 13	3,16	1,66	0,26	1,24
	4	3,6	2,1	0,26	1,24
	5	3,84	2,34	0,26	1,24
	11, 12, 18	3,07	1,44	0,27	1,36
	14	3,24	1,61	0,27	1,36
	16	2,72	1,22	0,26	1,24
	17	2,12	0,61	0,27	1,24
	19	3,31	1,55	0,27	1,49
	20	3,7	1,68	0,28	1,74
Нагнетание цементного раствора за тюбинговую обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, при предварительном нагнетании гравия в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—354)	1—10	18,2	15,44	0,7	2,06
	11, 12, 14, 18	17,3	14,33	0,7	2,27
	13, 15—17	17,1	14,35	0,69	2,06
	19	17,6	14,35	0,77	2,48
	20	21	17,31	0,81	2,88

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Нагнетание цементного раствора за тюбинговую обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, при предварительном нагнетании гравия в грунтах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—355)	1, 4, 6—10	25,8	21,72	1,01	3,07
	5	26,3	22,22	1,01	3,07
	11, 12, 14, 18	34,7	20,33	1,00	3,37
	13, 15—17	24,4	20,35	0,98	3,07
	19	25,1	20,33	1,09	3,68
	20	29,9	24,45	1,15	4,3
Нагнетание раствора за тюбинговую обделку станционного тоннеля, сооружаемого щитом, при предварительном нагнетании гравия в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—357)	1—4, 6—10	22,5	19,14	0,85	2,51
	5	22,8	19,43	0,86	2,51
	11, 12, 14, 18	21,4	17,79	0,85	2,76
	13, 15—17	21,2	17,86	0,83	2,51
	19	21,8	17,86	0,93	3,01
	20	26,0	21,51	0,98	3,51
То же в породах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—358)	1—4, 6—10	30,0	25,22	1,16	3,62
	5	30,4	25,61	1,17	3,62
	11, 12, 14, 18	28,6	23,47	1,15	3,98
	13, 15—17	28,2	23,45	1,13	3,62
	19	29,1	23,49	1,26	4,35
	20	34,7	28,31	1,32	5,07
Нагнетание цементного раствора за тюбинговую обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, без предварительного нагнетания гравия в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—360)	1—4, 6—10	18,6	14,6	1,05	2,95
	5	19,0	14,98	1,07	2,95
	11, 12, 14, 18	17,3	13,01	1,05	3,24
	13, 15—17	17,0	13,02	1,03	2,95
	19	17,7	13,01	1,15	3,54
	20	22,8	17,46	1,21	4,13
То же в грунтах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—361)	1, 2, 6—8	25,9	20,1	1,48	4,32
	3—5, 9, 10	26,5	20,65	1,53	4,32
	11, 12, 14, 18	24,50	18,25	1,50	4,75
	13, 15—17	24,0	18,21	1,47	4,32
	19	25,0	18,17	1,64	5,19
	20	32,1	24,37	1,73	6,0

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Нагнетание раствора за тюбинговую обделку станционного тоннеля, сооружаемого щитом, без предварительного нагнетания гравия в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—363)	1—4, 6—10	22,1	17,36	1,25	3,49
	5	22,6	17,84	1,27	3,49
	11, 12, 14, 18	20,6	15,51	1,26	3,83
	13, 15—17	20,2	15,48	1,23	3,49
	19	21,1	15,54	1,37	4,19
	20	27,1	20,77	1,44	4,89
То же в грунтах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—364)	1—4, 6—8, 10	30,2	23,56	1,62	5,02
	5, 9	30,7	24,12	1,56	5,02
	11, 12, 14, 18	28,2	21,08	1,6	5,52
	13, 15—17	27,7	21,11	1,57	5,02
	19	28,9	21,13	1,75	6,02
	20	37,0	28,16	1,84	7,00
Нагнетание цементного раствора за тюбинговую обделку эскалаторного тоннеля (ЕРЕР № 20—366)	1—4, 6—10	8,8	6,72	0,5	1,58
	5	9,0	6,91	0,51	1,58
	11, 12, 14, 18	8,3	6,06	0,5	1,74
	13, 15—17	8,1	6,03	0,49	1,58
	19	8,5	6,05	0,55	1,9
	20	10,8	8,01	0,58	2,21
Нагнетание цементного раствора за сборную бетонную обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, при предварительном нагнетании гравия в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—367)	1—4, 6—10	20,3	17,32	0,75	2,23
	5	20,7	17,71	0,76	2,23
	11, 12, 14, 18	19,5	16,3	0,75	2,45
	13, 15—17	19,2	16,24	0,73	2,23
	19	20,0	16,5	0,82	2,68
	20	23,7	19,72	0,86	3,12
То же в грунтах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—368)	1—4, 6—8	26,5	22,31	0,99	3,2
	5, 9, 10	27,0	22,86	0,94	3,2
	11, 12, 14, 18	25,6	21,09	0,98	3,53
	13, 15—17	25,1	20,94	0,96	3,2
	19	26,1	21,18	1,07	3,85
	20	31,0	25,4	1,12	4,48

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Нагнетание цементного раствора за сборную бетонную обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, без предварительного нагнетания гравия в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—370)	1—4, 6—8, 10	20,7	16,51	1,11	3,08
	5, 9	21,1	16,94	1,08	3,08
	11, 12, 14, 18	19,4	14,91	1,10	3,39
	13, 15—17	19,0	14,85	1,07	3,08
	19	19,9	15	1,2	3,7
	20	25,5	19,92	1,27	4,31
Нагнетание цементного раствора за сборную бетонную обделку перегонного тоннеля, сооружаемого щитом, без предварительного нагнетания гравия в грунтах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—371)	1—4, 6—8	26,6	20,8	1,48	4,32
	5, 9, 10	27,1	21,37	1,41	4,32
	11, 12, 14, 18	25,1	18,9	1,45	4,75
	13, 15—17	24,5	18,75	1,43	4,32
	19	25,7	18,92	1,59	5,19
	20	32,8	25,13	1,67	6,0
Нагнетание цементного молока в монолитную бетонную обделку тоннеля (ЕРЕР № 20 — 373)	1, 3, 4, 6—10	31,5	14,3	3,9	13,3
	2, 5, 17	32,2	14,9	4	13,3
	11, 12	33,1	14,4	4	14,7
	13, 15, 16	33,4	16,2	3,9	13,3
	14, 18	34,7	16,0	4,0	14,7
	19	36,9	16,8	4,1	16,0
	20	39,7	17	4,1	18,6
Нагнетание цементного раствора за монолитную бетонную обделку (ЕРЕР № 20—374)	1, 2, 6—8	25,6	18,03	2,55	5,02
	3—5, 9, 10	26,2	18,6	2,58	5,02
	11, 12, 14, 18	24,4	16,29	2,59	5,52
	13, 15—17	23,8	16,23	2,55	5,02
	19	25,1	16,30	2,80	6,0
	20	31,8	21,80	3,0	7,0

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Контрольное нагнетание цементного молока за сборную обделку тоннеля (ЕРЕР № 20—375)	1, 3, 4, 7, 9, 10	5,63	4,36	0,16	1,11
	2, 17	6,00	4,73	0,16	1,11
	5	6,10	4,83	0,16	1,11
	6, 8	5,74	4,47	0,16	1,11
	11, 12, 13, 15	5,90	4,52	0,16	1,22
	16	6,60	5,33	0,16	1,11
	14, 18	6,70	5,32	0,16	1,22
	19	7,30	5,79	0,18	1,33
	20	7,60	5,86	0,19	1,55

Примечание. Под перегонным тоннелем имеется в виду сооружение с внешним диаметром до 6,5 *м*, под станционным — сооружение с внешним диаметром более 6,5 *м*.

Расценки на нагнетание гравия и раствора предусматривают щитовую проходку при сборной обделке и горизонтальные тоннельные сооружения при монолитной бетонной обделке.

При нагнетании гравия и раствора за обделку стволов и горизонтальных тоннельных сооружений, проходимых другими способами, кроме щитового, к общей стоимости следует применять следующие коэффициенты:

Нагнетание гравия и раствора за тюбинговую обделку горизонтального перегонного тоннеля, сооружаемого горным способом в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—348, 20—354, 20—360) 0,6

То же, IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—349, 20—355, 20—361) 0,78

Нагнетание гравия и раствора за тюбинговую обделку станционного тоннеля, сооружаемого горным способом, в грунтах I—III категорий (ЕРЕР № 20—350, 20—357, 20—363) 0,51

То же, IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—351, 20—358, 20—364) 0,73

Нагнетание раствора за тюбинговую обделку стволов, проходимых обычным способом, в грунтах I—III категорий или опускным колодцем или кессоном (ЕРЕР № 20—360) 0,38

Нагнетание раствора за тюбинговую обделку стволов, проходимых обычным способом в грунтах IV—XI категорий (ЕРЕР № 20—361) 0,6

Нагнетание раствора за монолитную обделку стволов, проходимых опускным колодцем или кессоном (ЕРЕР № 20—374) 0,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

НОРМЫ ЗАТРАТ НА УСТРОЙСТВО ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЗОНТОВ [5]

Нормы на измерители, указанные в таблице

Наименование элементов затрат	Станционные тоннели		Эскалаторные тоннели	Станционные тоннели			Эскалаторные тоннели	
	железобетонные зонты	зонты из асбоцементных плит	зонты из асбоцементных плит	железобетонные дренажные желоба	асбестоцементные дренажные желоба	дренажные желоба из оцинкованной кровельной стали	асбестоцементные дренажные желоба	желоба из оцинкованной кровельной стали
	на 100 $м^2$			на 100 *м*			на 1 *т*	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Затраты труда, чел.-дни	122	28,5	34	94	24	40,5	9	25
Разряд работ	4,8	4,6	4,8	4,2	4	3,4	5	4,2
Тележки монтажные, маш.-смены . . .	—	9,5	8,3	—	—	—	1,85	—
Аппараты сварочные 27,4 *ква,* маш.-смены	7,7	—	—	—	—	—	—	1,65
Электротермосы для битума, маш.-смены	1,14	1,34	1,29	—	1,4	1,9	0,35	0,305
Прочие машины, %	35	20	16	2	12	9	11	4
Кружала из досок, *м*	$\frac{46}{(158)}$	—	—	—	—	—	—	—

Арматура, *т*	0,1	—	—	0,38	—	—	—	0,064
Бетон, *м*³	—	—	—	33,5	—	—	—	0,83
Лотки асбестоцементные, *м*²	—	—	—	—	39,5	—	32	—
Плиты асбестоцементные, *м*²	—	128	132	—	—	—	—	—
Фасонные части зонта асбестоцементные толщиной 24 *мм*, *м*²	—	13,5	13,3	—	—	—	—	—
Плиты сборные железобетонные, *м*³	3,25	—	—	—	—	—	—	—
Стальные конструкции, *т*	2,35	—	—	—	—	—	—	1,0
Песок, *м*³	1,13	0,015	0,015	—	—	—	—	—
Цемент «250», *т*	0,49	1,25	1,25	-	—	—	—	—
Бревна строительные III с. до 240 *мм*, *м*³	1,28 / (1,57)	—	—	2,8 / (3,2)	—	—	—	0,07 / (0,08)
Доски IV с. 25—35 *мм*, *м*³	0,89 / (0,98)	—	—	—	—	—	—	—
То же, 40—70 *мм*, *м*³	4,7 / (6,0)	—	—	3,5 / (3,7)	—	—	—	0,07 / (0,08)
Сталь кровельная листовая оцинкованная, *т*	—	—	—	—	—	1,15	—	—
Болты из слаболегированной стали, шт.	—	76	81	—	—	—	—	—
Битум нефтяной БН-III, *т*	0,3	0,3	0,3	—	0,83	0,49	0,064	—
Прочие материалы, %	11	2	2	3	10	11	12	2

СТОИМОСТЬ УСТРОЙСТВА ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЗОНТОВ ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЙОНАМ СССР [6]

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Устройство зонтов из асбоцементных плит в станционных тоннелях (ЕРЕР № 20—394)	1, 2, 4	53,4	42,4	2,5	8,5
	3, 8, 9	55,5	44,5	2,5	8,5
	5, 10, 13	56,8	45,8	2,5	8,5
	6, 7	54,8	43,8	2,5	8,5
	11, 12	57,3	45,3	2,6	9,4
	14, 18	59,6	47,6	2,6	9,4
	15, 17	60,5	49,5	2,5	8,5
	16	59,1	48,1	2,5	8,5
	19	63,5	50,5	2,7	10,3
	20	71,0	56,2	2,9	11,9
То же в эскалаторных тоннелях (ЕРЕР № 20—395)	1, 2, 4	56,3	43,7	2,1	10,5
	3, 6—9	58,2	45,6	2,1	10,5
	5, 10, 13	59,1	46,5	2,1	10,5
	11, 12	60,0	46,2	2,2	11,6
	14, 18	63,0	49,2	2,2	11,6
	15, 17	64,0	51,4	2,1	10,5
	16	62,0	49,4	2,1	10,5
	19	67,0	52,0	2,3	12,7
	20	75,0	57,9	2,4	14,7

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Устройство дренажных желобов из оцинкованной кровельной стали в станционных тоннелях (ЕРЕР № 20—398)	1—10, 13, 15—17	40,5	30,5	0,1	9,9
	11, 12, 14, 18	41,8	30,8	0,1	10,9
	19	43,2	31,1	0,2	11,9
	20	45,4	31,3	0,2	13,9
Устройство железобетонных дренажных желобов в станционных тоннелях (ЕРЕР № 20—396)	1—3, 6, 7, 16	124,0	97,3	0,5	26,2
	4, 5, 8—10, 17	127,0	100,3	0,5	26,2
	11	119,0	89,7	0,5	28,8
	12, 14	125,0	95,7	0,5	28,8
	13, 15	120,0	93,3	0,5	26,2
	18	122,0	92,7	0,5	28,8
	19	126,0	94,1	0,5	31,4
	20	151,0	113,7	0,6	36,7
Устройство асбестоцементных дренажных желобов в станционных тоннелях (ЕРЕР № 20—397)	1, 2, 9	14,6	8,1	0,1	6,4
	3, 5, 16	15,0	8,5	0,1	6,4
	4	14,1	7,6	0,1	6,4
	6	14,8	8,3	0,1	6,4
	7, 8, 10, 13	14,4	7,9	0,1	6,4
	11, 14	15,6	8,4	0,1	7,1
	12	15,3	8,1	0,1	7,1
	15, 17	15,9	9,4	0,1	6,4
	18	16,6	9,4	0,1	7,1
	19	17,7	9,9	0,1	7,7
	20	20,0	10,9	0,1	9,0

Характер работы	Территориальные районы	Стоимость, руб.			
		общая стоимость	материалы	экспл. машин	основная заработная плата
Устройство асбестоцементных дренажных желобов в эскалаторных тоннелях (ЕРЕР № 20—399)	1—9, 13	7,1	3,76	0,46	2,88
	10	7,3	3,97	0,45	2,88
	11, 12	7,5	3,86	0,47	3,17
	14, 18	7,8	4,16	0,47	3,17
	15—17	7,6	4,27	0,45	2,88
	19	8,4	4,45	0,49	3,46
	20	9,5	4,94	0,53	4,03
Устройство зонтов из оцинкованной кровельной стали в эскалаторных тоннелях (ЕРЕР № 20—400)	1—4, 6—9	3660	2930	30	700
	5, 10, 16, 17	3760	3030	30	700
	11, 12, 18	3710	2910	30	770
	13, 15	3700	2970	30	700
	14	3770	2970	30	770
	19	3890	3020	30	840
	20	4170	3150	40	980

Примечание. В качестве измерителей приняты: 1 *м*² поверхности зонта, 1 *м* желоба и 1 *т* конструкции зонта.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ И ПОРОД

Наименование и характеристика грунтов и пород	Средний объемный вес в плотном состоянии, *т/м*³	Время бурения 1 *м* шпура, *мин*	Категория
Ангидрид	2,9	5,7	VI
Боксит	—	4,2	V
Гипс	2,2	3,1	IV
Глина:			
жирная, мягкая, а также насыпная, слежавшаяся, с примесью гравия, гальки, щебня и строительного мусора (в том числе юрская и моренная)	1,8	—	II
тяжелая и мягкая ломовая и сланцевая с примесью гравия, гальки и щебня, а также булыг в количестве до 10% объема (в том числе твердая юрская и мягкая карбонная)	1,95	—	III
твердая карбонная кембрийская	2,0	3,1	IV
Гравий и галька:			
мелкий — размером до 20 *мм*	1,700	—	I
средний — размером до 40 *мм*	1,75	—	II
крупный — размером до 150 *мм*	1,95	—	III
мелкий и средний с примесью булыг весом до 10 *кг*	1,90	—	III
Грунт растительного слоя:			
без корней	1,2	—	I
с корнями	1,2	—	II
с примесью строительного мусора, щебня и гравия	1,4	—	II
Доломит	2,7	7,7	VII
Известняк:			
мягкий, пористый, трещиноватый, выветрившийся	1,2	4,2	V
мергелистый слабый	2,3	5,6	VI
крепкий плотный	2,7	7,7	VII
крепкий доломитизированный	2,8	10,4	VIII
плотный окварцованный	2,9	14	IX
Кварцит:			
сланцевый выветрившийся	2,7	7,7	VII
сланцевый	2,8	10,4	VIII
с заметной сланцеватостью	2,9	14	IX
без сланцеватости	2,8	18,9	X
мелкозернистый	2,9	25,5	XI

Наименование и характеристика грунтов и пород	Средний объемный вес в плотном состоянии, *т/м³*	Время бурения 1 *м* шпура, *мин*	Категория
Конгломерат:			
слабо сцементированный	2,0	3,1	IV
из осадочных пород на глинистом цементе	2,2	4,2	V
из осадочных пород на известковом цементе	2,3	5,7	VI
из осадочных пород на кремнистом цементе	2,5	7,7	VII
из изверженных пород на известковом и кремнистом цементе	2,8	10,4	VIII
Коренные глубинные породы (граниты, гнейсы, диориты, сиениты, габбро и др.):			
крупнозернистые, сильно выветрившиеся	2,2—2,6	4,2	V
среднезернистые, сильно выветрившиеся	2,2—2,6	5,7	VI
мелкозернистые, сильно выветрившиеся	2,5	7,7	VII
крупнозернистые, не затронутые выветриванием	2,8	10,4	VIII
среднезернистые, не затронутые выветриванием	2,8—3,3	14	IX
мелкозернистые, не затронутые выветриванием	3,0—3,3	18,9	X
микрозернистые, не затронутые выветриванием	3,0—3,3	25,5	XI
Коренные излившиеся породы (андезиты, базальты, трахиты и др.):			
сильно выветрившиеся	2,6	7,7	VII
слабо выветрившиеся	2,7	10,4	VIII
со следами выветривания	2,6—2,8	14	IX
без следов выветривания	2,7—3,1	18,9	X
микроструктурные, не затронутые выветриванием	3,0—3,3	25,5	XI
Лёсс:			
естественной влажности, рыхлый	1,6	—	I
то же, с примесью гравия и гальки	1,8	—	II
сухой	1,75	—	II
плотный	1,8	—	III
отвердевший	1,8	3,1	IV
Мел:			
мягкий	1,55	3,1	IV
плотный	2,6	4,2	V
Мергель:			
мягкий	1,9	3,1	IV
средней крепости	2,3	4,2	V
крепкий	2,5	5,7	VI
Мрамор	2,7	7,7	VII

Наименование и характеристика грунтов и пород	Средний объемный вес в плотном состоянии, *т/м*³	Время бурения 1 *м* шпура, *мин*	Категория
Опоки	1,9	3,1	IV
Пемза	1,1	4,2	V
Песок:			
естественной влажности с примесью гравия и гальки или щебня в количестве до 20% объема	1,6	—	I
естественной влажности с примесью гравия и гальки или щебня в количестве до 40% объема	1,7	—	II
сухой барханный и дюнный	1,6	—	II
Песчаник:			
выветрившийся	2,2	4,2	V
слабый на известковом цементе	2,5	5,7	VI
глинистый	2,2	5,7	VI
плотный	2,5	7,7	VII
кварцитовый	2,7	10,4	VIII
кремнистый очень плотный	2,7	10,4	VIII
Ракушечник	1,2	4,2	V
Сланцы:			
выветрившиеся	2,0	3,1	IV
глинистые средней крепости и слабо выветрившиеся	2,3—2,7	4,2	V
крепкие	2,6	5,7	VI
окварцованные	2,6	7,7	VII
Суглинок:			
легкий и лессовидный	1,6	—	I
легкий, лессовидный и тяжелый с примесью гравия и гальки или щебня в количестве до 10% объема	1,75—1,9	—	II
тяжелый с примесью булыг в количестве до 10% объема	1,95	—	III
Супесок без примесей и с примесью гравия, щебня, гальки	1,6—1,9	—	I
Трепел:			
слабый	1,55	3,1	IV
плотный	1,7	4,2	V
Туф	1,1	4,2	V
Чернозем и каштановый грунт:			
естественной влажности	1,3	—	II
сухой отвердевший	1,2	—	III

СТОИМОСТЬ ОДНОЙ МАШИНО-СМЕНЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Наименование машин и оборудования	Цены по территориальным						
	1	2	3	4	5	6	7
Цемент-пушка	133	133	136	132	133	133	133
Электротермосы для битума	5,78	6,2	9,3	4,61	6,2	5,78	5,78
Растворонасосы производительностью 6 *м³/час* (без компрессора) . .	56,6	57,2	61,0	55,0	57,2	56,6	56,6
Растворонагнетатели для тоннельных работ . .	43,6	44,4	50,4	41,3	44,4	43,6	43,6
Аппараты сварочные мощностью 24,6—27,4 *ква*	13	13,7	18,3	11,3	13,7	13	13,0
Котлы битумные передвижные емкостью 1000 *л*	47,6	44,1	44,1	47,6	34,1	34,1	47,6
Лебедки ручные грузоподъемностью 1,5 *т* .	1.55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55	1,55
Гравиенагнетатели. . .	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5
Аппараты пескоструйные 5—6 *атм*	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6
Молотки бурильные легкие	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1	42,1
Молотки отбойные . .	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
Молотки чеканочные. .	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
Тележки чеканочные и монтажные для перегонных тоннелей . .	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
То же для станционных тоннелей	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2
Опалубка стальная передвижная	15.6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6

И ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ РАЙОНАМ СССР [14]

районам, руб.

8	9, 10	11, 12	13	14	15	16, 17	18	19	20
133	132	136	133	138	133	133	135	140	147
5,15	4,61	5,57	6,2	7,6	5,78	5,15	4,67	6,9	7,7
55,7	55,0	59,5	57,2	62,0	56,6	55,7	58,3	65,0	72
42,3	41,3	43,6	44,4	47,4	43,6	42,3	41,8	46,6	49
12,1	11,3	12,9	13,7	15,8	13	12,1	11,5	15,0	16,6
47,6	53,6	40,3	38,6	53,8	72,0	72,0	43,3	34,0	45,9
1,55	1,55	1,6	1,55	1,6	1,55	1,55	1,6	1,65	1,76
20,5	20,5	20,6	20,5	20,6	20,5	20,5	20,6	20,7	20,9
23,6	23,6	24,6	23,6	24,6	23,6	23,6	24,6	25,6	27,6
42,1	42,1	42,2	42,1	42,2	42,1	42,1	42,2	42,4	42,6
25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	26,0	26,1
10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4	10,5	10,6
6,7	6,7	6,9	6,7	6,9	6,7	6,7	6,9	7,1	7,6
21,2	21,2	21,9	21,2	21,9	21,2	21,2	21,9	22,6	24,0
15,6	15,6	16,1	15,6	16,1	15,6	15,6	16,1	16,6	17,6

СТОИМОСТЬ (ФРАНКО-СТРОИТЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА) МАТЕРИАЛОВ, ПО ТЕРРИТОРИАЛЬНЫМ

Наименование материалов и деталей	Вес брутто, *т*	Цены по территориальным						
		1	2	3	4	5	6	7
Битум нефтяной, дорожный БН-0, БН-1, БН-II, БН-III, *т*	1,16	419	447	419	404	447	419	432
То же БН-II-У, БН-III-У, *т*	1,16	460	488	460	446	488	460	473
Битум нефтяной, строительный БН-IV, БН-V, *т*	1,0	353	381	353	338	381	353	363
Гидроизол, рулон . .	0,0158	20,9	21,5	22,2	21,6	22,7	22,2	22,0
Кальций хлористый, твердый, *т*	1,05	969	969	1010	1010	975	952	952
То же жидкий, *т* . .	1,33	600	600	592	592	581	637	637
Металлоизол, *м*² . .	0,004	7,7	7,7	7,9	7,9	7,8	7,7	7,7
Пакля смоляная, *кг* . .	0,001	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Пергамин марки П-350, *м*²	0,00065	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	0,9	0,9
Сталь горячекатаная периодического профиля *d*=10 *мм* и выше, *т*	1	700	700	700	710	700	700	700
Цемент расширяющийся водонепроницаемый, *т*	1,01	620	630	670	640	700	670	670
Комплекты болтовые перегонные со сферическими шайбами, комплект	0,0016	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72
То же эскалаторные, комплект	0,0026	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17
То же станционные 42×190, комплект . .	0,0041	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67
То же, 42 × 220, комплект	0,0045	5,68	5,68	5,68	5,68	5,69	5,68	5,68

ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, РАЙОНАМ СССР [13]

районам, руб.

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
381	441	595	452	412	386	434	471	414	435	493	500	554
422	482	636	493	453	427	475	512	455	499	534	541	587
317	369	502	381	346	321	370	402	348	365	428	433	483
22,4	23	24	23	23,1	23,2	24,3	25,5	24,6	25,3	24,4	26,1	29,4
994	1020	1050	999	1050	1040	1140	1210	1140	1160	1180	1290	1550
632	598	693	479	487	532	547	641	652	691	622	762	900
7,8	7,9	8,3	8,0	8,1	8	8,4	8,4	8,4	8,5	8,6	9,0	9,9
4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,6	4,7	4,6	4,5	4,5	4,7	4,9	5,2
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1
700	700	700	700	700	700	700	700	710	700	700	710	710
680	700	750	710	710	720	770	830	790	830	780	860	1010
2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	2,73
4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,19	4,19
5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,67	5,68	5,69
5,68	5,68	5,68	5,69	5,69	5,69	5,69	5,69	5,69	5,69	5,69	5,7	5,7

Наименование материалов и деталей	Вес брутто, *т*	Цены по территориальным						
		1	2	3	4	5	6	7
Прокладки асбестобитумные для тюбинговых пробок, тыс. шт.	0,027	161	161	161	161	161	161	161
Тюбинговые пробки, тыс. шт.	1,14	4050	4080	4150	4120	4190	4150	4140
Шайбы асбестобитумные для перегонного тоннеля, тыс. шт. . . .	0,03	158	158	158	158	158	158	158
То же для эскалаторного тоннеля, тыс. шт. . .	0,033	158	158	158	158	158	158	158
То же для станционного тоннеля, тыс. шт. .	0,036	174	174	174	174	174	174	174
Элементы асбестоцементного зонта толщ. 6 *мм*, *м*².	0,009	9,8	10,1	10,2	9,8	10,5	10,5	10,2
То же толщиной 12 *мм*, *м*².	0,019	19,7	20,1	20,4	19,7	21,1	20,9	20,4
То же толщиной 24 *мм*, *м*².	0,038	39,4	40,3	40,8	39,4	42,2	41,8	40,8
Бетон, *м*³: марки «75»,	2,3	105	105	105	109	110	105	105
» «100»,	2,4	119	119	119	123	124	119	119
» «150»,	2,4	126	126	126	130	131	126	126
» «200»,	2,4	136	136	136	140	141	136	136
Раствор цементный 1 : 3, *м*³	—	101	101	101	104	105	101	101
То же 1 : ,1 *м*³ . . .	—	162	162	162	165	166	162	162
Гипсо-глиноземистый расширяющийся цемент *т*, марки «300» . .	1,0	408	419	408	408	427	419	408
» «400», . . .	1,0	418	430	418	418	438	430	418
» «500», . . .	1,0	449	460	449	449	468	460	449

районам, руб.

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161
4180	4230	4310	4220	4240	4250	4330	4440	4370	4440	4350	4500	4780
158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158	158
174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174
10,4	10,2	10,3	10,5	10,5	10,9	10,9	11,0	10,9	10,6	10,8	11,2	11,3
20,8	20,4	20,6	21	20,9	21,7	21,8	22	21,8	21,1	21,7	22,5	22,6
41,7	40,8	41,1	41,9	41,8	43,5	43,6	43,9	43,6	42,2	43,4	44,9	45,2
105	109	109	91	91	91	91	91	91	91	91	91	132
119	123	123	106	106	106	106	106	106	106	106	106	147
126	130	130	112	112	112	112	112	112	112	112	112	154
136	140	140	123	123	123	123	123	123	123	123	123	166
101	104	104	91	91	91	91	91	91	91	91	91	122
162	165	165	152	152	152	152	152	152	152	152	152	183
419	408	408	419	419	427	427	427	427	427	427	445	447
430	418	418	430	430	438	438	438	438	438	438	456	457
460	449	449	460	460	468	468	468	468	468	468	486	488

Наименование материалов и деталей	Вес брутто, *т*	Цены по территориальным						
		1	2	3	4	5	6	7
Глиноземистый цемент, *т*: марки «300» . . .	1	486	497	486	486	505	497	486
» «400» . . .	1	500	512	500	500	520	512	500
» «500»	1	523	534	523	523	542	534	523
Цемент портландский, пуццолановый, *т*:								
марки «200» . . .	1	113	124	113	113	132	124	113
» «250»	1	125	136	125	125	144	136	125
» «300» . . .	1	136	148	136	136	156	148	136
» «400» . . .	1	153	164	153	153	172	164	153
» «500» . . .	1	169	180	169	169	188	180	169
» «600»	1	188	199	188	188	207	199	188
Портландцемент сульфатостойкий, портландцемент пуццолановый сульфатостойкий, *т*:								
марки «300» . . .	1	142	153	142	142	161	153	142
» «400» . . .	1	158	169	158	158	177	169	158
» «500» . . .	1	175	187	175	175	195	187	175
» «600»	1	195	206	195	195	214	206	195
Песок, $м^3$	1,5	29,3	36,9	24,2	24,9	23,0	27,5	18,3
Гравий, $м^3$	1,6	53,8	44,6	43,6	73,3	39,6	58,9	43,7

районам, руб.

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
497	486	486	497	497	505	505	505	505	505	505	523	525
512	500	500	512	512	520	520	520	520	520	520	538	539
534	523	523	534	534	542	542	542	542	542	542	560	562
124	113	113	124	124	132	132	132	132	132	132	150	152
136	125	125	136	136	144	144	144	144	144	144	162	164
148	136	136	148	148	156	156	156	156	156	156	174	175
164	153	153	164	164	172	172	172	172	172	172	190	192
180	169	169	180	180	188	188	188	188	188	188	206	208
199	188	188	199	199	207	207	207	207	207	207	225	227
153	142	142	153	153	161	161	161	161	161	161	179	181
169	158	158	169	169	177	177	177	177	177	177	195	197
187	175	175	187	187	195	195	195	195	195	195	213	214
206	195	195	206	206	214	214	214	214	214	214	232	234
27,5	33,1	25,2	41,4	33,9	37,3	43,9	42,6	30,1	39,2	33,9	35,5	33,5
42,6	49,5	52,5	59,4	65,0	33,3	48,8	48,9	40,1	46,9	53,9	62,9	46,7

НОРМЫ АГРЕССИВНОСТИ ВОДЫ — СРЕДЫ

Таблица 1

Нормы выщелачивающей агрессивности воды — среды
(вода считается агрессивной, если гидрокарбонатная щелочность в *мг-экв/л* имеет значение ниже приводимых величин)

Условия омывания бетона водой (окружающая среда)	Наименьший поперечный размер (толщина) конструкции, *м*	Безнапорные сооружения		Напорные сооружения	
		обычный и сульфатостойкий портландцементы	обычные и сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы	обычный и сульфатостойкий портландцементы	обычные и сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы
Открытый водоём или грунт с коэффициентом фильтрации более 10 *м/сутки*	менее 0,5	1,5	0,5	2,0	0,7
	от 0,5 до 2,5	0,75	не нормируется	1,2	0,4
	более 2,5	0,40	то же	0,7	не нормируется
Грунт с коэффициентом фильтрации от 10 до 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	0,75	то же	1,0	0,4
	от 0,5 до 2,5	0,4	то же	0,6	не нормируется
	более 2,5	не нормируется	то же	не нормируется	то же
Грунт с коэффициентом фильтрации менее 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	то же	то же	то же	то же
	от 0,5 до 2,5	то же	то же	то же	то же
	более 2,5	то же	то же	то же	то же

Примечание. Гидрокарбонатная щелочность выражается числом *мг-экв* ионов HCO_3', содержащихся в 1 *л* воды.

Таблица 2

Нормы общекислотной агрессивности воды — среды

(вода считается агрессивной, если водородный показатель (pH) имеет значение, меньшее приводимых ниже вечичин)

Условия омывания бетона водой (окружающая среда)	Наименьший поперечный размер (толщина) конструкции, *м*	Безнапорные сооружения		Напорные сооружения	
		обычный и сульфатостойкий портландцементы	обычные и сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы	обычный и сульфатостойкий портландцементы	обычные и сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы
Открытый водоём или грунт с коэффициентом фильтрации более 10 *м/сутки*	менее 0,5	6,5	6,7	7,0	7,0
	от 0,5 до 2,5	6,2	6,4	6,5	6,7
	более 2,5	5,7	6,0	6,0	6,2
Грунт с коэффициентом фильтрации от 10 до 0,1 *м/сек*	менее 0,5	6,2	6,4	6,4	6,6
	от 0,5 до 2,5	5,2	5,5	5,7	6,0
	более 2,5	не нормируется	не нормируется	5,2	5,5
Грунт с коэффициентом фильтрации менее 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	то же	то же	5,2	5,5
	от 0,5 до 2,5	то же	то же	не нормируется	не нормируется
	более 2,5	то же	то же	то же	то же

Таблица 3

Нормы углекислой агрессивности воды — среды

(вода считается агрессивной, если содержание в ней свободной углекислоты в *мг/л* превышает величину, определяемую по формуле $a[Ca^{\cdot\cdot}]+b+k$, где *а* и *в* — коэффициенты, принимаемые по табл. 4, а *к* — коэффициент, принимаемый **по данной таблице)**

Условия омывания бетона водой (окружающая среда)	Наименьший поперечный размер (толщина) конструкции, *м*	Безнапорные сооружения		Напорные сооружения	
		обычный и сульфатостойкий портландцементы	обычные сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы	обычный и сульфатостойкий портландцементы	обычные и сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы
Открытый водоём или грунт с коэффициентом фильтрации более 10 *м/сутки*	менее 0,5	5	0	0	0
	от 0,5 до 2,5	20	15	10	5
	более 2,5	30	20	20	15
Грунт с коэффициентом фильтрации от 10 до 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	40	30	25	20
	от 0,5 до 2,5	80	60	50	40
	более 2,5	не нормируется	не нормируется	80	70
Грунт с коэффициентом фильтрации менее 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	то же	то же	80	70
	от 0,5 до 2,5	то же	то же	не нормируется	не нормируется
	более 2,5	то же	то же	то же	то же

Значения коэффициентов *a* и *в*

Гидрокарбонатная щелочность		Суммарное содержание ионов Cl′ и SO_4'', *мг/л*											
		0—200		201—400		401—600		601—800		801—1000		более 1000	
в градусах	в *мг-экв*	*a*	*в*	*a*	*в*	*a*	*в*	*a*	*в*	*a*	*в*	*a*	*в*
4	1,4	0,01	16	0,01	17	0,01	17	0	17	0	17	0	17
5	1,8	0,04	17	0,04	18	0,03	17	0,02	18	0,02	18	0,02	18
6	2,1	0,07	19	0,08	19	0,05	18	0,04	18	0,04	18	0,04	18
7	2,5	0,10	21	0,08	20	0,07	19	0,06	18	0,06	18	0,05	18
8	2,9	0,13	23	0,11	21	0,09	19	0,08	19	0,07	18	0,07	18
9	3,2	0,16	25	0,14	22	0,11	20	0,10	19	0,09	18	0,08	18
10	3,6	0,20	27	0,17	23	0,14	21	0,12	19	0,11	18	0,10	18
11	4,0	0,24	29	0,20	24	0,16	22	0,15	20	0,13	19	0,12	19
12	4,3	0,28	32	0,24	26	0,19	23	0,17	21	0,16	20	0.14	20
13	4,7	0,32	34	0,28	27	0,22	24	0,20	22	0,19	21	0,17	21
14	5,0	0,36	36	0,32	29	0,25	26	0,23	23	0,22	22	0,19	22
15	5,4	0,40	38	0,36	30	0,29	27	0,26	24	0,24	23	0,22	23
16	5,7	0,44	41	0,40	32	0,32	28	0,29	25	0,27	24	0,25	24
17	6,1	0,48	43	0,44	34	0,36	30	0,33	26	0,30	25	0,28	25
18	6,4	0,54	46	0,47	37	0,40	32	0,36	28	0,33	27	0,31	27
19	6,8	0,61	48	0,51	39	0,44	33	0,40	30	0,37	29	0,34	28
20	7,1	0,67	51	0,55	41	0,48	35	0,44	31	0,41	30	0,38	29
21	7,5	0,74	53	0,60	43	0,53	37	0,48	33	0,45	31	0,41	31
22	7,8	0,81	55	0,65	45	0,58	38	0,53	34	0,49	33	0,44	32
23	8,2	0,88	58	0,70	47	0,63	40	0,58	35	0,53	34	0,48	33
24	8,6	0,96	60	0,76	49	0,68	42	0,63	37	0,57	36	0,52	35
25	9,0	1,04	63	0,81	51	0,73	44	0,67	39	0,61	38	0,56	37

Таблица 5

Нормы сульфатной агрессивности воды — среды для обычного (несульфатостойкого) портландцемента и обычных (несульфатостойких) пуццоланового, песчано-пуццоланового и шлакового портландцементов

(вода считается агрессивной, если содержание ионов SO_4'' превышает приведенные в таблице величины, в *мг/л*, с учетом содержания ионов хлора)

Условия омывания бетона водой (окружающая среда)	Наименьший поперечный размер (толщина) конструкции, *м*	Безнапорные сооружения			Напорные сооружения		
		при содержании Cl' менее 1000 *мг/л*	при содержании Cl' от 1000 до 6000 *мг/л*	при содержании Cl' более 6000 *мг/л*	при содержании Cl' менее 1000 *мг/л*	при содержании Cl' от 1000 до 6000 *мг/л*	при содержании Cl' более 6000 *мг/л*
Открытый водоём или грунт с коэффициентом фильтрации более 10 *м/сутки*	менее 0,5	250	100 + 0,15 [Cl']	1050	250	100 + 0,15 [Cl']	1050
	от 0,5 до 2,5	250	100 + 0,15 [Cl']	1050	250	100 + 0,15 [Cl']	1050
	более 2,5	350	200 + 0,15 [Cl']	1150	300	150 + 0,15 [Cl']	1100
Грунт с коэффициентом фильтрации от 10 до 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	250	100 + 0,15 [Cl']	1050	250	100 + 0,15 [Cl']	1050
	от 0,5 до 2,5	300	150 + 0,15 [Cl']	1100	250	100 + 0,15 [Cl']	1050
	более 2,5	400	250 + 0,15 [Cl']	1200	350	200 + 0,15 [Cl']	1150
Грунт с коэффициентом фильтрации менее 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	300	150 + 0,15 [Cl']	1100	300	150 + 0,15 [Cl']	1100
	от 0,5 до 2,5	400	250 + 0,15 [Cl']	1200	350	200 + 0,15 [Cl']	1150
	более 2,5	450	300 + 0,15 [Cl']	1250	400	250 + 0,15 [Cl']	1200

Таблица 6

Нормы сульфатной агрессивности воды — среды для сульфатостойкого портландцемента и для сульфатостойких пуццолановых, песчано-пуццолановых и шлаковых портландцементов

(вода считается агрессивной, если содержание ионов SO_4'' превышает следующие величины в *мг/л*, независимо от содержания ионов Cl')

Условия омывания бетона водой (окружающая среда)	Наименьший поперечный размер (толщина) конструкции, *м*	Безнапорные сооружения		Напорные сооружения	
		сульфатостойкий портландцемент	сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы	сульфатостойкий портландцемент	сульфатостойкие пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы
Открытый водоём или грунт с коэффициентом фильтрации более 10 *м/сутки*	менее 0,5	3000	4000	2500	3500
	от 0,5 до 2,5	3000	4000	2500	3500
	более 2,5	3500	4500	3000	4000
Грунт с коэффициентом фильтрации от 10 до 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	3000	4000	2500	3500
	от 0,5 до 2,5	3500	4500	3000	4000
	более 2,5	4000	5000	3500	4500
Грунт с коэффициентом фильтрации менее 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	3500	4500	3000	4000
	от 0,5 до 2,5	4000	5000	3500	4500
	более 2,5	5000	6000	4500	5500

Таблица 7

Нормы магнезиальной агрессивности воды — среды

(вода считается агрессивной, если содержание ионов $Mg^{\cdot\cdot}$ в *мг/л* составляет не менее 1000 *мг/л* и превышает величину, определяемую по формуле $к - [SO_4'']$, в которой $[SO_4'']$ обозначает содержание ионов SO_4'' в *мг/л*, *к* — коэффициент, принимаемый по данным настоящей таблицы.).

При содержании $Mg^{\cdot\cdot}$ менее 1000 *мг/л* вода считается не обладающей магнезиальной агрессивностью независимо от содержания SO_4''.

Условия омывания бетона водой (окружающая среда)	Наименьший поперечный размер (толщина) конструкции, *м*	Безнапорные сооружения		Напорные сооружения	
		обычный и сульфатостойкий портландцемент	обычные и сульфатостойкие, пуццолановые, песчано-пуццолановые и шлаковые портландцементы	обычный и сульфатостойкий портландцемент	обычные и сульфатостойкие пуццолановые и шлаковые портландцементы
Открытый водоём или грунт с коэффициентом фильтрации более 10 *м/сутки*	менее 0,5	6000	5000	5000	4500
	от 0,5 до 2,5	7000	6000	6000	5000
	более 2,5	8000	7000	7000	6000
Грунт с коэффициентом фильтрации от 10 до 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	8000	7000	7000	6000
	от 0,5 до 2,5	9000	8000	8000	7000
	более 2,5	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется
Грунт с коэффициентом фильтрации менее 0,1 *м/сутки*	менее 0,5	то же	9000	9000	8000
	от 0,5 до 2,5	то же	не нормируется	не нормируется	9000
	более 2,5	то же	то же	то же	не нормируется

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные технические условия на водонепроницаемый расширяющийся и безусадочный цементы, методы физических и механических испытаний их и инструкции по применению этих цементов. Издание второе. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952.

2. Временная инструкция по применению алюмината натрия к растворам и бетонам при борьбе с фильтрацией в сооружениях. И-196-54 Минстрой, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955.

3. Временная инструкция по устройству влагоизоляционных пленочных покрытий в подземных сооружениях ВМФ. В/ч 13073, 1958.

4. Инструкция по инъектированию кладки массивных опор железнодорожных мостов. Трансжелдориздат, 1948.

5. Строительные нормы и правила. Часть I, II, III и IV, Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1954.

6. Сборник № 20 единых районных единичных расценок на строительные работы. Тоннели, часть I и II. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

7. Технические условия производства бетонных и железобетонных работ при строительстве тоннелей. ТУ-Т10-56 Минтрансстрой.

8. Технические условия производства работ по гидроизоляции тоннелей. Часть 2. Минтрансстрой. 1957.

9. Технические условия на производство работ по нагнетанию за обделку тоннелей. ТУ-Т6-55 Минтрансстрой.

10. Технические условия на изготовление гидроизоляционных сферических шайб. ТУ-Т7-55 Минтрансстрой.

11. Технические условия и инструкции на производство инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства метрополитенов и горных железнодорожных тоннелей, Трансжелдориздат, 1955.

12. Указания по применению единых районных единичных расценок на строительные работы. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

13. Ценник № 2 машино-смен строительных машин и оборудования. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

14. Ценник № 1 средних районных сметных цен на материалы, детали и конструкции. Часть 1 — Строительные материалы. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

15. Военный зарубежник. 1956, № 3, Воениздат.

16. Зарубежная техника. Применение сборного железобетона в шахтном строительстве Англии. Углетехиздат, 1956.

17. Гидроизоляция железобетонных свай. Технический отчет ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1953.

18. Метрострой. Техническая информация. 1956, № 4.

19. Метрострой, Техническая информация. 1957, № 1.

20. Метрострой. Техническая информация. 1957, № 5.

21. Метрострой. Техническая информация, 1957, № 6—7.

22. Обделки тоннелей из чугунных тюбингов. Метрогипротранс, 1953.

23. В. С. Аристов. Сооружение напорного тоннеля высоконапорной регулирующей гидроэлектростанции большой мощности. Журнал «Гидротехническое строительство» 1948, № 11.

24. А. А. Гладков. Гидроизоляция подземных сооружений метрополитена. Трансжелдориздат, 1942.

25. П. Д. Глебов и др. Исследования свойств холодных асфальтовых мастик, затворяемых на битумных эмульсионных пастах. Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, том. 56, Госэнергоиздат, 1956.

26. П. Д. Глебов, Н. С. Покровский. О гидроизоляции железобетонных блоков для тоннелей метрополитенов. Метрострой. Техническая информация. 1957, № 4.

27. М. Г. Давидсон, Е. Д. Кузьмин. Новые способы повышения водонепроницаемости железобетонных конструкций. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1957.

28. Г. Н. Каменский и др. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. Госгеолиздат, 1953.

29. К вопросу о подземных заводах за рубежом. Перевод ВИА № 27/57, 1957.

30. И. И. Киселев. Водонепроницаемые бетоны для подземных сооружений. Метрострой. Техническая информация. 1957, № 4.

31. А. И. Кравцов. К вопросу о шахтных водах в Донецком бассейне Журнал «Уголь» 1939, № 9.

32. А. С. Коржуев. Дисперсные битумы. Госгеолиздат, 1951.

33. В. Л. Куперман и др. Подземные гидроэлектростанции. Госэнергоиздат, 1957.

34. А. М. Овчинников. Общая гидрогеология, Госгеолтехиздат, 1955.

35. С. А. Орлов. Сборная железобетонная обделка тоннелей. Минтрансстрой, 1957.

36. Н. С. Покровский. Пропитка бетонов битумом методом «внутреннего вакуумирования», Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева 1956, том 56.

37. Ф. П. Саваренский. Инженерная геология. ГОНТИ, 1939.

38. В. Г. Смертюк, В. Е. Андреев. Применение железобетона для крепления вертикальных стволов шахт. Министерство строительства предприятий угольной промышленности, 1955.

39. И. Г. Таранов. Конструкция тисненного сборно-разборного зонта из асбоцемента для станции метро «Усачевская». Метрострой. Техническая информация. 1956, № 3.

40. Г. А. Туркестанов. О средстве достижения водонепроницаемости бетона для подземных и гидротехнических сооружений. Метрострой. Техническая информация 1957, № 1.

41. Д. Д. Харисс, П. Б. Морис. Напряженно-армированный железобетон. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.

42. Э. З. Юдович, А. А. Гладков. Гидроизоляция подземных сооружений. Стройиздат, 1949.

43. В. П. Чеботарев. Гидроизоляция подземных фортификационных сооружений. ВИА, 1958.

44. Huge underground vaults builts built oiltight, Engineering News Record, Vol 135, № 26, 1945.

45. C. Robinson. Cerman underground Jnstallations, The Military Engineer, Vol 39, № 265, 1947.

46. A. Kieser. Die Anwendung der Vorspanneffektes im Stollen-und Tunnelbau durch Kehring-auskleidung, Zeitschrift der Österreichischen Jinginer-und Architekten Vereines, Heft 1/2, 1956.

47. Maihak. Dauermessungen zum Verfahren der Kehringauskleidung beim Hauptstollen Rosshaupten, „Bautechnik", Heft 10, 1955.

48. Polyplaste als Dichtungsmittel im Wasserbau, „Wasserwirtschaft Technik", Heft 7, 1956.

ОГЛАВЛЕНИЕ

КО ВСЕМ ЧИТАТЕЛЯМ

Отзывы и критические замечания по содержанию и оформлению издания, а также предложения или пожелания автору просьба посылать по адресу: Москва, Покровский бульвар, 11. Редакционно-издательский отдгл Академии.

Литературный редактор *Г. А. Левина*
Технический редактор *В. П. Акимова*
Корректор *Р. Н. Швухова*

Г344536 Подписано к печати 15.8.59 г. Зак. 553 Изд. № 209
Печ. л. 9,75. Авт. л. 9,4. Бумага 60×92 1/16.

Типография ВИА имени В. В. Куйбышева